

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Optimalizace rozvodu 6kV na Válcovně
předvalků a hrubých profilů

Optimization of 6kV network in VHy

2015

Bc. Lukáš Šilbach

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Šilbach**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: Optimalizace rozvodu 6 kV na Válcovně předvalků a hrubých profilů.
Optimalizace rozvodu 6 kV na Válcovně předvalků a hrubých profilů.

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor koncepce napájení průmyslových rozvodů.
2. Konfigurace sítě ET, a.s. a válcovny předvalků a hrubých profilů v TŽ Třinec, a.s.
3. Možnosti optimalizace provozu rozvodných zařízení.
4. Výpočet zkratových poměrů na rozvodně R2.
5. Návrh úprav sítě.
6. Závěrečné zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Hradílek, Z.: Elektroenergetika I a II. Skripta VŠB TU 1992 a 1993
2. Santarius, P.: Elektrické stanice a vedení. Skripta VŠB TU 1990
3. Krychtálek Z., Pauza J.: Elektrické stanice SNTL 1989
4. Horák, K.: Výpočet elektrických sítí. SNTL 1980
5. Hodinka, M., Fecko, Š., Němeček, F.: Přenos a rozvod elektrické energie. SNTL 1989 Praha
6. Trojánek, Z., Hájek J., Kvasnica, P.: Přechodové jevy v el. soustavách, SNTL 1988 Praha
7. Normy ČSN, firemní literatura, technická dokumentace TŽ Třinec, a.s.

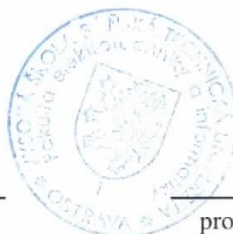
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Jiří Gurecký**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry

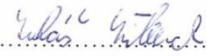


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 7. 5. 2015

Podpis studenta.....
Bc. Lukáš Šilbach

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Dr. Ing. Jiřímu Gureckému za jeho cenné rady a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá optimalizací rozvodů na Válcovně předvalků a hrubých profilů. Cílem práce je výpočet zkratových poměrů v rozvodně R2. V teoretické části se diplomová práce zaměřuje na koncepci napájení průmyslových podniků všeobecně. Teoreticky rozebírá strukturu elektrizační soustavy, detailně se pak zaměřuje na rozbor a popis elektrických stanic. Také se zabývá rozvodnami pro velmi vysoké napětí i zvláště vysoké napětí. Dále práce teoreticky seznamuje s konfigurací sítě Energetika Třinec a Válcovny předvalků a hrubých profilů Třineckých železáren.

V úvodu praktické části je popsán postup při výpočtu zkratových proudů a výkonů v rozvodně. Dále je v práci proveden výpočet zkratových proudů na přípojnici rozvodny R2. Dle vypočtených hodnot pak diplomová práce navrhuje jednotlivé přístroje umístěné v rozvodně a to vždy v různých variantách a od různých dodavatelů. V závěru je porovnán stav před a po optimalizaci rozvodny.

Klíčová slova

Rozvodna, průmyslový rozvod, zkratový výkon, zkratový proud, reaktor

Abstract

This thesis deals with optimization of network in VHy. The main task of this work is to calculate the short-circuit conditions in the substation R2. The theoretical part of the thesis focuses on the concept of supply of industrial companies in general. In theory, analyzes the structure of the electricity system in detail, it focuses on the analysis and description of the electrical stations. It also deals with substations for high voltage and extra high voltage. Further work theoretically acquainted with the network configuration Energetika Třinec and VHy Třinecké železářny.

In the introduction to the practical part describes the procedure for calculating short-circuit current and power substation. Furthermore, there is a calculation of short-circuit currents of the busbar substation R2. According to the calculated values thesis proposes various devices placed in the substation and always in different varieties and from different suppliers. The conclusion is compared before and after optimization substation.

Key words

Substation, industrial network, short circuit power, short-circuit current, reactor

Seznam použitých zkratek

A	ampér	X_k	reaktance kabelu	[Ω]
AC	střídavý proud	X_R	reaktance reaktoru	[Ω]
c	napět'ový součinitel	X_s	reaktance sítě	[Ω]
ČSN	česká státní norma	Z_c	celková impedance	[Ω]
DC	stejnosměrný proud	Z_{kab}	impedance kabelu	[Ω]
EN	evropská norma	Z_R	impedance reaktoru	[Ω]
ET	Energetika Třinec	Z_s	impedance sítě	[Ω]
H	henry	zvn	zvlášť vysoké napětí	
HR	hlavní rozvaděč	Ω	ohm	
Hz	hertz			
I_k	jmenovitý krátkodobý proud			[A]
	počáteční souměrný rázový			
I_{k3}''	zkratový proud			[A]
I_p	jmenovitý dynamický proud			[A]
I_r	jmenovitý proud			[A]
I_{Rn}	jmenovitý proud reaktoru			[A]
km	kilometr			
ks	kusy			
l	délka			[m]
L_k	indukčnost kabelu			[H/km]
m	metr			
n	počet kabelů			
nn	nízké napětí			
Pa	pascal			
R_k	odpor kabelu			[Ω]
RM	podružný rozvaděč			
R_s	činný odpor sítě			[Ω]
S_{k3}''	počáteční souměrný rázový			
	zkratový výkon			[VA]
T	transformátor			
U_n	jmenovité napětí sítě			[V]
U_r	jmenovité napětí			[V]
u_k	napětí nakrátko			[%]
V	volt			
VA	voltampér			
vn	vysoké napětí			
vvn	velmi vysoké napětí			
W	watt			

Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Teoretický rozbor	3
2.1.	Stupně dodávky elektrické energie	3
2.2.	Struktura elektrizační soustavy	5
2.3.	Elektrické stanice	6
2.3.1.	Transformovny	7
2.3.2.	Spínací stanice.....	8
2.3.3.	Měničny	8
2.3.4.	Kompenzační stanice	8
2.4.	Střídavé elektrické rozvodné zařízení	8
2.5.	Schémat elektrických stanic	9
2.5.1.	Jednoduchý systém přípojníc	9
2.5.2.	Dvojitý systém přípojníc	12
2.5.3.	Trojitý systém přípojníc	13
2.5.4.	Odbočky	16
2.6.	Rozvodny vvn a zvn.....	16
2.7.	Průmyslové rozvody.....	17
2.7.1.	Paprskový rozvod.....	18
2.7.2.	Průběžný rozvod.....	18
2.7.3.	Okružní rozvod.....	19
2.7.4.	Mřížový rozvod.....	19
3.	Konfigurace sítě ET a.s. a válcovny předvalků a hrubých profilů v TŽ a.s., Třinec	21
3.1.	Válcovna předvalků a hrubých profilů.....	21
3.2.	Kobková rozvodna	22
4.	Možnosti optimalizace provozu rozvodných zařízení.....	24
4.1.	Odpojovače	24
4.1.1.	Odpojovače SERW	25
4.1.2.	Odpojovače IVEP.....	25
4.1.3.	Odpojovače DRIBO	26

4.2.	Vypínače	26
4.2.1.	Vypínače Siemens	27
4.2.2.	Vypínače Schneider Electric	27
4.2.3.	Vypínače ABB	28
5.	Výpočet zkratových poměrů na rozvodně R2	29
5.1.	Předpoklady výpočtu	29
5.2.	Zkratové impedance elektrických zařízení	29
5.3.	Rozvodna napájena jedním přívodem	33
5.4.	Rozvodna napájena dvěma přívody	36
5.5.	Rozvodna napájena třemi přívody	39
6.	Návrh úprav sítě	42
6.1.	Odpojovače DRIBO	43
6.2.	Odpojovače IVEP	44
6.3.	Vypínače Schneider Electric	45
6.4.	Vypínače Siemens	46
7.	Závěr	48
8.	Literatura	50
9.	Seznam příloh	52

Seznam obrázků

Obrázek 1. První stupeň dodávky elektrické energie [3]	3
Obrázek 2. Druhý stupeň dodávky elektrické energie [3].....	4
Obrázek 3. Struktura elektrizační soustavy [1]	5
Obrázek 4. Napájení z jednoho zdroje [4].....	10
Obrázek 5. Nedělený systém přípojníc se dvěma zdroji [4]	10
Obrázek 6. Podélně dělený systém přípojníc s odpojovačem [4]	11
Obrázek 7. Podélně dělený systém přípojníc s vypínačem [4]	11
Obrázek 8. Podélně dělený systém přípojníc se šroubovými spojkami [4].....	11
Obrázek 9. Schéma se zjednodušeným značením vypínačů a odpojovačů [4]	12
Obrázek 10. Dvojitý systém přípojníc [4].....	13
Obrázek 11. Trojitý systém přípojníc [4]	13
Obrázek 12. Okružní přípojnice [4]	14
Obrázek 13. Okružní přípojnice se záložním vypínačem [4].....	14
Obrázek 14. H – schéma rozvodny [4].....	15
Obrázek 15. Rozvodna se třemi vypínači na dvě odbočky [4].....	15
Obrázek 16. Paprskový rozvod [5].....	18
Obrázek 17. Průběžný rozvod [5]	18
Obrázek 18. Okružní rozvod [5]	19
Obrázek 19. Mřížový rozvod [5].....	20
Obrázek 20. Přehledové schéma rozvodny R2 [8].....	23
Obrázek 21. Označení zapojení vinutí trojvinutový transformátoru [6].....	30
Obrázek 22. Schéma rozvodny napájena jedním přívodem a náhradní schéma	33
Obrázek 23. Schéma rozvodny napájena jedním přívodem s reaktorem a náhradní schéma.....	34
Obrázek 24. Schéma rozvodny napájena dvěma přívody a náhradní schéma.....	36
Obrázek 25. Schéma rozvodny napájena dvěma přívody s reaktory a náhradní schéma.....	37
Obrázek 26. Schéma rozvodny napájena třemi přívody a náhradní schéma.....	39
Obrázek 27. Schéma rozvodny napájena třemi přívody s reaktory a náhradní schéma	40
Obrázek 28. Odpojovač DRIBO ITr [14]	43
Obrázek 29. Odpojovač IVEP QAK [12]	44
Obrázek 30. Vypínač Schneider Electric VA [11].....	45
Obrázek 31. Vypínač Siemens 3AH3 [13].....	46

Seznam tabulek

Tabulka 1. Technické údaje odpojovače SERW [16]	25
Tabulka 2. Technické údaje odpojovače IVEP [12]	25
Tabulka 3. Technické údaje odpojovače DRIBO [14]	26
Tabulka 4. Technické údaje vypínače Siemens [13]	27
Tabulka 5. Technické údaje vypínače Schneider Electric [11]	27
Tabulka 6. Technické údaje vypínače ABB [15]	28
Tabulka 7. Napěťový součinitel [6]	29
Tabulka 8. Přehled vypočtených hodnot pro napájení jedním přívodem	35
Tabulka 9. Přehled vypočtených hodnot pro napájení dvěma přívody	38
Tabulka 10. Přehled vypočtených hodnot pro napájení třemi přívody	41
Tabulka 11. Přehled přístrojů v rozvodně R2 [8]	42
Tabulka 12. Technické údaje odpojovačů DRIBO ITr [14]	43
Tabulka 13. Technické údaje odpojovačů IVEP QAK [12]	45
Tabulka 14. Technické údaje vypínače Schneider Electric VA [11]	46
Tabulka 15. Technické údaje vypínače Siemens 3AH3 [13]	47

1. Úvod

V průmyslových oblastech jako je například severní Morava a Slezsko, kde se nacházejí největší hutní a průmyslové společnosti a podniky České republiky, bylo vždy potřeba zajistit dodávky elektrické energie ve větším měřítku. To vyžadovalo soustředění stavby elektráren poblíž těchto podniků a míst s velkým odběrem elektrické energie. S rozvojem průmyslových oblastí rostla potřeba zvyšovat napěťové hladiny.

Konkrétně se práce zabývá podnikem Třineckých železáren - Moravia Steel. Součástí této velké průmyslové společnosti je Energetika Třinec a jiné výrobní provozy, do kterých patří mimo jiné i samotná Válcovna předvalků a hrubých profilů. Historie této průmyslové společnosti sahá až do 30. let 19. století k rodu Habsburků. Od těchto počátků prošla oblast výraznými změnami a to i po stránce energetické. Stavitelé a inženýři, kteří se podíleli na plánování výstavby a rozvoji Třineckých železáren, počítali do budoucna s rozšířením podniku a navýšením výrobních kapacit. Bylo nutné zajistit především dostatečné množství elektrické energie, která byla do železáren přiváděna z elektráren. Ty byly umístěny co nejbližší odběrným místům. Většina takto předpřipravených míst k rozšíření byla postavena v 60. letech 20. století. V průběhu několika desítek let však došlo k neočekávaným zvrátům a tyto elektrické stanice zůstaly bez využití, se kterým se počítalo v minulosti. Značná část těchto stanic je proto předimenzovaná. Tímto stavem se práce zabývá i u rozvodny R2, která je předmětem zkoumání a výpočtů diplomové práce.

Diplomová práce má za cíl zoptimalizovat rozvody na Válcovně předvalků a hrubých profilů ve společnosti Třinecké železářny. V prvních kapitolách teoretické části se práce zaměřuje na koncepci napájení průmyslových podniků, ve kterých jsou popsány stupně dodávky elektrické energie, struktura elektrizační soustavy a následně všechny důležité komponenty související s průmyslovým rozvodem. Zaměřuje se na rozbor a popis elektrických stanic a jejich částí, jako jsou například transformovny, spínací stanice, měnirny a kompenzační stanice. Také jsou zde znázorněna podrobná schémata zmíněných stanic. V další podkapitole jsou popsány rozvodny velmi vysokého napětí i zvlášť vysokého napětí. Práce teoreticky seznamuje s konfigurací sítě Energetika Třinec a Válcovny předvalků a hrubých profilů Třineckých železáren. V této kapitole je pomocí podkapitol popsán současný stav napájení Válcoven předvalků a hrubých profilů. Práce se zde zabývá také popisem kobkové rozvodny R2. Z dostupných zdrojů jsou předběžně vybrány vhodné přístroje, pro možnosti optimalizace, které se nachází v kobkové rozvodně.

Praktická část diplomové práce využívá teoretických poznatků a aplikuje tyto znalosti na výpočet zkratových poměrů na rozvodně R2. V těchto kapitolách jsou popsány předpoklady výpočtu a následně proveden samotný výpočet zkratových proudů a zkratových výkonů na přípojnících v kobkové rozvodně. Výpočty, které poskytnou potřebné hodnoty, lze použít jako podklad pro výběr vhodných přístrojů, k umístění do rozvodny. Tyto přístroje budou vybrány z dostupných katalogů různých dodavatelů.

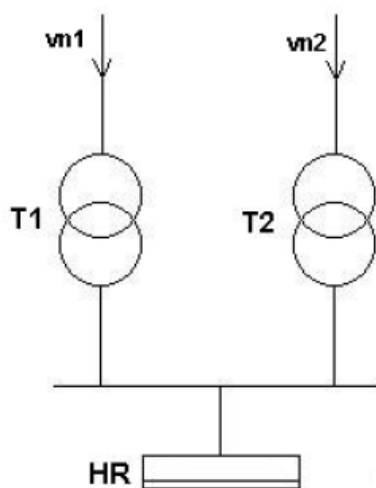
V závěru diplomové práce jsou stručně shrnuty všechny teoretické a praktické poznatky. Závěr se dále zabývá samotnou optimalizací kobkové rozvodny. Také je zde jasně zhodnocen stav před a po optimalizaci.

2. Teoretický rozbor

2.1. Stupně dodávky elektrické energie

Podle důležitosti jednotlivých provozoven nebo jen jednotlivých pohonů technologických zařízení jsou dodávky elektrické energie pro ně rozděleny do tří stupňů.

Dodávky elektrické energie 1. stupně (obr. 1) jsou dodávky, které musí být zajištěny za každých okolností, jejichž přerušení může způsobit buď ohrožení lidských životů, nebo velké ztráty znehodnocením výroby, zničením zařízení, zastavení důležitých strojů sloužících k udržování technologického procesu. Rozhodnutí, že jde o dodávku 1. stupně je nutno podložit náležitým technicko-ekonomickým zdůvodněním. Dodávky 1. stupně jsou např. čerpadla požární vody, výtahy určené k evakuaci osob, ve válcovných čerpadla chladicí a odpadní vody, elektrické pece, jeřáby, zařízení umělého větrání prostorů s výbušnými plyny, v dolech důlní čerpadla, ventilátory, těžní stroj, signalizace. [3]

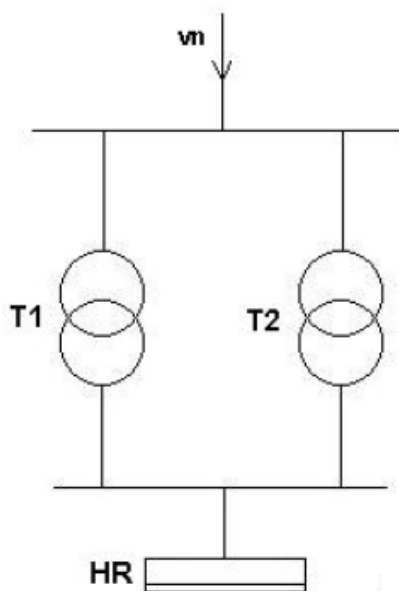


Obrázek 1. První stupeň dodávky elektrické energie [3]

Dodávky elektrické energie 1. stupně musí být zajištěny ze dvou na sobě nezávislých napájecích zdrojů, z nichž každý musí mít takový výkon, aby při jeho vypadnutí byly dodávky 1. stupně zajištěny. Přepnutí na druhý napájecí zdroj se podle technologických podmínek a podle přípustné doby přerušení dodávky elektrické energie provede buď zásahem obsluhy, nebo automaticky ihned po vzniku poruchy.

Místo druhého (náhradního) napájecího zdroje elektrické energie může být také proveden náhradní neelektrický pohon příslušného zařízení, např. dieselagregát. Tento náhradní zdroj musí však mít stejnou pohotovost a spolehlivost a nesmí být závislý na prvním elektrickém zdroji, který v případě poruchy vypadl. Připojení na dva transformátory napájené z jedné rozvodné soustavy se nepovažuje za připojení na dva nezávislé napájecí zdroje. Při plánovaných revizích některého zdroje (přívodu) se musí podniknout taková opatření, aby nedošlo k havárii nebo nebezpečnému stavu.

Dodávky elektrické energie 2. stupně (obr. 2) jsou dodávky, které mají být pokud možno zajištěny, jelikož jejich přerušení a zastavení důležitých strojů může způsobit jen zmenšení nebo zastavení výroby, aniž při tom nastane ohrožení osob. Dodávky 2. stupně ve strojírenství jsou např. obráběcí stroje a automatické linky se zatavovacími a čerpacími automaty, olejové a emulzní hospodářství s centrálním rozvodem, pásové a řetězové dopravníky.



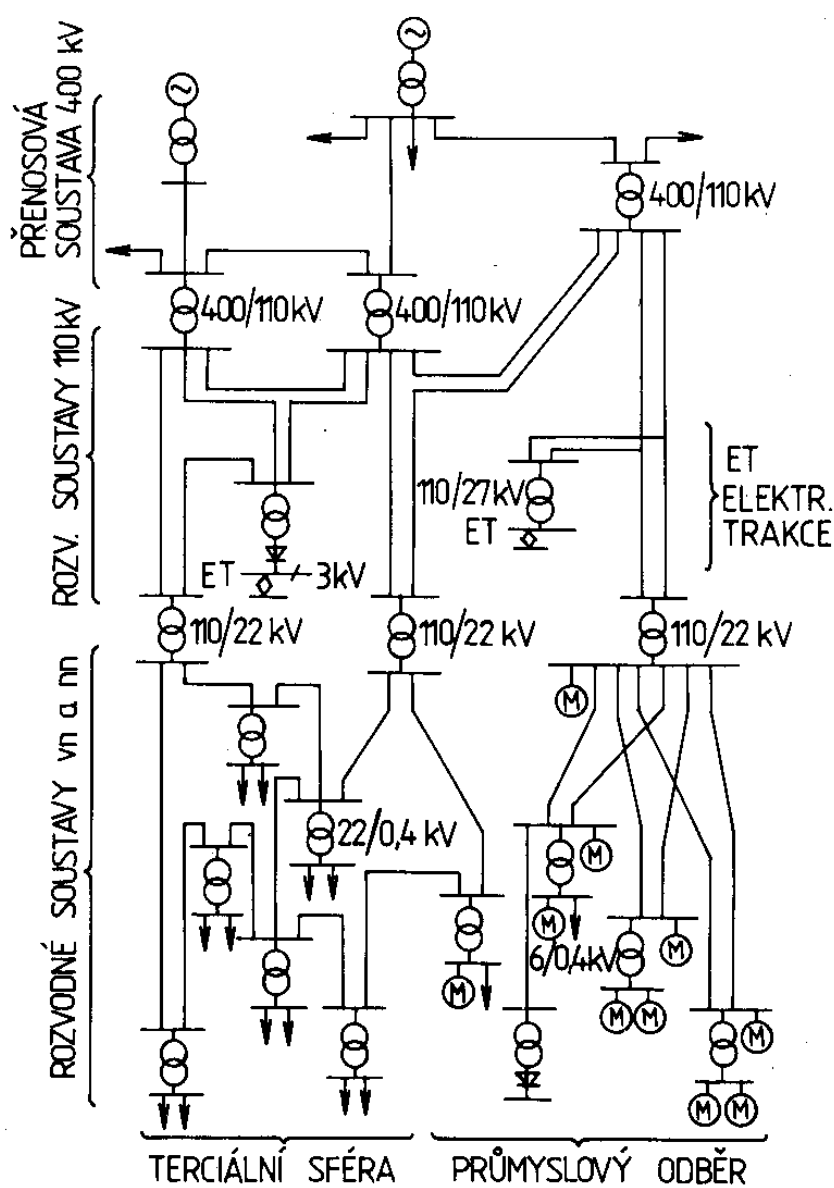
Obrázek 2. Druhý stupeň dodávky elektrické energie [3]

Dodávky elektrické energie 2. stupně se provedou podle místních poměrů. Počet napáječů, jejich průřezy, počet a výkony transformátorů se volí tak, aby byla zajištěna jejich vzájemná záloha bez dalších investic. Za dostatečné zajištění se většinou považuje připojení alespoň na dva transformátory a jejich napájení se zpravidla již neposuzuje. [3]

2.2. Struktura elektrizační soustavy

Elektrizační soustava slouží k přenosu a rozvodu elektrické energie z místa výroby až do místa spotřeby. Skládá se obvykle ze soustav přenosových a soustav rozvodných (distribučních).

Přenosové soustavy slouží k přenosu velkých výkonů mezi hlavními uzly elektrizační soustavy. Rozvodné soustavy mají za úkol rozdělit elektrickou energii z napájeného uzlu do jednotlivých skupin nebo oblastí spotřebičů, popř. k jednotlivým spotřebičům. Veřejné rozvodné soustavy slouží k napájení oblastí terciální sféry (byty, občanská vybavenost) a jsou z nich napájeny i rozvodné sítě průmyslové, zemědělské a dopravní. [1]



Obrázek 3. Struktura elektrizační soustavy [1]

Požadavky na elektrizační soustavu

Mezi základní požadavky na elektrizační soustavu patří:

- Zajišťovat bezpečnost osob
- Zajišťovat dostatečnou, spolehlivou a kvalitní dodávku elektrické energie spotřebitelům
- Výrazně snižovat pracnost prací v provozu a v údržbě soustavy
- Pracovat s vysokou účinností
- Pracovat s vyššími parametry a s větším počtem zdrojů a elektrických stanic
- Využívat odpadního tepla
- Umožňovat řízení odběru elektrické energie
- Být materiálově nenáročná (zejména pokud jde o deficitní materiály)
- Zabraňovat nepříznivým vlivům soustavy na okolí (na životní prostředí) [1]

2.3. Elektrické stanice

Elektrická stanice je souhrn staveb a zařízení v uzlech elektrizační soustavy, který umožňuje transformaci elektrické energie na jiné napětí a její rozvod, nebo rozvod elektrické energie se stejným napětím, nebo přeměnu střídavého proudu na proud jiného kmitočtu případně na proud stejnosměrný a jeho rozvod, nebo kompenzaci elektrické energie.

Všeobecně zahrnuje prostředky nutné pro bezpečnost a řízení soustavy (např. ochrany).

Elektrické stanice sestávají z následujících částí:

Elektrická část

- rozvodná zařízení: rozvodny, rozváděče, rozvodnice,
- transformátory: hlavní i pro vlastní spotřebu,
- měniče s příslušenstvím,
- kompenzační zařízení: statické (kondenzátory, tlumivky, zhášecí tlumivky), rotační,
- společná zařízení: soustava ochran, zařízení pro zajištění a rozvod energie pro vlastní spotřebu (části střídavé i stejnosměrné), zařízení pro výrobu a rozvod tlakového vzduchu, dozorná, zařízení pro ovládání, měření, návěstí, dispečerské dorozumívací zařízení, vlč. zařízení, zařízení pro hromadné dálkové ovládání,

Pomocné části

Slouží k zabezpečení provozu a údržby. Patří sem např. olejové hospodářství, revizní věž, laboratoř, dílny, sklady, administrativní budovy,

Stavební části

Pozemek, budovy, venkovní i vnitřní stavební konstrukce, venkovní i vnitřní komunikace, oplocení apod. [4]

2.3.1. Transformovny

Transformovna je elektrická stanice, která obsahuje výkonové transformátory propojující dva nebo více sítí s rozdílnými napětími. Uskutečňuje se v ní transformace elektrické energie na jiné napětí a její rozvod. Dispoziční uspořádání a konstrukční řešení transformoven je určeno řešením jednotlivých částí stanice a jejich vzájemným umístěním. Závisí tedy na řešení jednotlivých rozvodných zařízení (rozvoden) nn, vn, vvn, zvn, na rozmístění výkonových transformátor, společného a pomocného zařízení apod.

Podle rozsahu a účelu rozlišujeme průmyslové transformovny a transformovny distribuční. Zvláštním typem je transformovna prefabrikovaná a mobilní.

K elektrické části transformovny patří:

- hlavní **transformátory** a transformátory vlastní spotřeby,
- **rozvodné zařízení** a reaktory k omezení zkratových proudů,
- **kompensační zařízení**, tj. rotační kompenzátory, statické kondenzátory a tlumivky,
- **společná zařízení**, tj. dozorná a v ní soustředěná zařízení pro ovládání (z místa nebo dálkové), měření, regulaci, návěští, dispečerské dorozumívací zařízení, ochrany, hromadné dálkové ovládání, vf zařízení. Dále sem patří zařízení pro zajištění a rozvod energie pro vlastní spotřebu (části střídavé i stejnosměrné), osvětlení, vytápění, větrání, chlazení apod., uzemnění (pracovní i ochranné), zařízení pro výrobu a rozvod tlakového vzduchu, spojovací vedení holá a izolovaná, kabely apod.

Do **pomocné části** transformovny patří:

různá zařízení sloužící k zabezpečení provozu a údržby - olejové hospodářství, revizní věž, laboratoř, dílny, sklady, administrativa apod.

Ke **stavební části** patří:

pozemek, budovy, venkovní a vnitřní stavební konstrukce, venkovní a vnitřní komunikace, oplocení apod.

Při dimenzování elektrického zařízení transformovny se vychází ze jmenovitých parametrů transformovny na straně vyššího i nižšího napětí a ze zkratových údajů transformovny, přičemž se zohledňuje koordinace izolační hladiny transformovny. Základem projekčního řešení transformovny je schéma a stavební návrh transformovny odvozený z funkčního a prostorového uspořádání přístrojů transformovny. [4]

2.3.2. Spínací stanice

Spínací stanice je souhrn zařízení a staveb umožňující spínání elektrických obvod (vedení) stejného jmenovitého napětí a stejné proudové soustavy a tím umožňující potřebný rozvod elektrické energie. Spínací stanice jsou vybaveny spínacími přístroji a obvykle i přípojnici. Mohou v nich být instalovány i výkonové transformátory, obvykle pro vlastní spodobu. Budují se buď samostatně, nebo jako součást jiné elektrické stanice (transformovny, elektrárny). Klasická spínací stanice se vyskytuje v novější době méně často, protože s ohledem na hospodárnost výstavby a provozu se do uzlů elektrizační soustavy obvykle soustřeďuje též napájení sítí nižšího napětí, což vede k použití transformoven.

2.3.3. Měnírny

Měnírna neboli měničová stanice, je elektrická stanice, kde se přeměňuje střídavý elektrický proud na proud jiného kmitočtu nebo na proud stejnosměrný a zajišťuje jeho rozvod. Měníčová stanice může rovněž měnit proud stejnosměrný na střídavý (tzv. střídač). Hlavní elektrickou částí měničové stanice jsou skupiny zařízení, sloužící ke změně kmitočtu nebo k usměrnění střídavého proudu, tj. frekvenční měniče a usměrňovače. Ostatní skupiny zařízení, např. spínací přístroje, transformátory, atd. se volí podle účelu a velikosti měničové stanice a uspořádání je podobné jako v transformovně. Měníčová stanice může též být součástí přenosu stejnosměrným proudem, kdy na jedné straně přenosu je stanice tvořena usměrňovačem a na druhé střídačem, ve kterém se mění proud stejnosměrný na střídavý.

2.3.4. Kompenzační stanice

Kompenzační stanicí (kompenzovanou) rozumíme souhrn zařízení a staveb sloužících ke kompenzaci v elektrickém rozvodu, zejména ke kompenzaci jalového výkonu. Podle způsobu provozu mohou být s trvalou obsluhou nebo bez trvalé obsluhy, řízené dálkově nebo neřízené. [4]

2.4. Střídavé elektrické rozvodné zařízení

Rozvodné zařízení slouží v elektrické stanici k rozvádění elektrické energie o stejném napětí. Patří mezi ně všechny potřebné přístroje určené k rozvádění elektrické energie, seřazené a zapojené podle daného elektrického schématu.

Základní prvky rozvodného zařízení:

- **Přípojnice** jsou holé vodiče, tuhé nebo lanové, velikost jejich průřezu a profilu je dána proudovým zatížením, požadavky na pevnost a zkratovými poměry. Přípojnice jsou napájeny prostřednictvím přírodních odboček a elektrická energie je odváděna ke spotřebičům prostřednictvím vývodních odboček. Přípojnícový systém je soubor n fází přípojníc.

- **Odbočky** tvoří soubor propojených přístrojů, které jsou určeny ke spínání měření a ochraně vývodů případně přívodu elektrické energie, spínačů přípojníc, vývodů k měřicím transformátorům napětí, k bleskojistkám atd.

Základní zařízení odbočky jsou:

- **Spínač**, který je určen k zapínání nebo vypínání odbočky pod zatížením nebo bez zatížení. Podle důležitosti je to vypínač, odpínač, odpojovač, stykač
- **Přípojnicový odpojovač** slouží k viditelnému odepnutí odbočky od přípojnicového systému
- **Vývodový odpojovač** slouží k viditelnému oddělení vedení, kabelového nebo venkovního od rozvodny. Většinou je vybaven zemními noži
- **Měřicí transformátory proudu a napětí**, jejich instalace je závislá na důležitosti odbočky a na požadavku měření a ochrany odbočky
- **Měřicí a signalizační zařízení**
- **Elektrické ochrany**

Podle konstrukčního uspořádání můžeme rozvodná zařízení dělit na:

- **Rozvodnu** zařízení, které je postaveno a zkoušeno ať na místě užití a vyžaduje zvláštní stavební úpravy.
- **Rozvaděč** zařízení, u něhož přístroje a nosná konstrukce tvoří jeden celek. Na místo provozu je instalován zkompletovaný a vyzkoušený. Zvláštní stavební úpravy nejsou potřeba, pouze kabelové prostupy a kanály.
- **Rozvodnice** je zařízení nn, jako například rozvodná deska s pojistkami elektroměrová deska apod. [4]

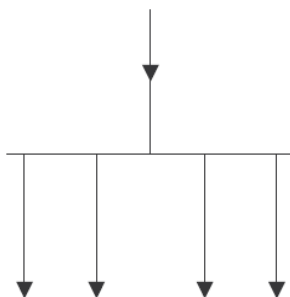
2.5. Schémata elektrických stanic

2.5.1. Jednoduchý systém přípojníc

Jednoduchých přípojníc lze používat tam, kde není požadavek na nepřerušovaný provoz při revizích a opravách. Používají se zásadně v rozvodných zařízeních, ze kterých jsou napájeny spotřebiče třetí kategorie, tj. takové spotřebiče, jejichž vyřazení z chodu neznamena snížení bezpečnosti osob, ani národohospodářské ztráty. Při požadavku zajištění napájení je možné přípojnice dělit podélně na sekce. Podélný spínač se spíná v případě výpadku jedné z přírodních odboček. V rozvodnách, které nejsou dimenzovány na paralelní spolupráci zdroj, musí být podélný spínač přípojníc blokován

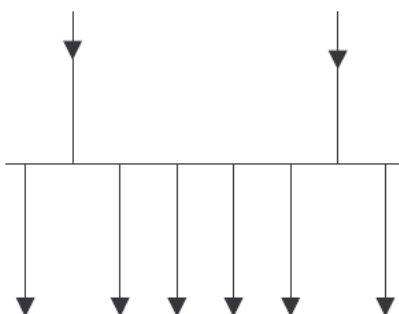
proti oběma zapnutým přívodním vypínačům. Pro rozvodná zařízení s jednoduchým systémem přípojníc se používají schémata. [4]

- Napájení z jednoho zdroje, v případě jeho poruchy není rezerva.



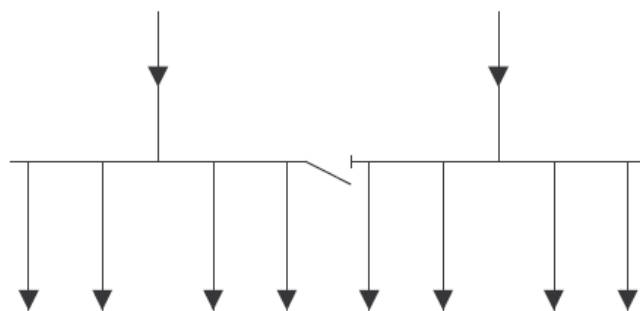
Obrázek 4. Napájení z jednoho zdroje [4]

- Nedělený systém přípojníc se dvěma zdroji. V případě poruchy jednoho ze zdrojů je zajištěná okamžitá rezerva výkonu (podle daného výkonového dimenzování může být částečná nebo plná), výměna, revize, oprava zdroje je možná bez přerušení provozu.



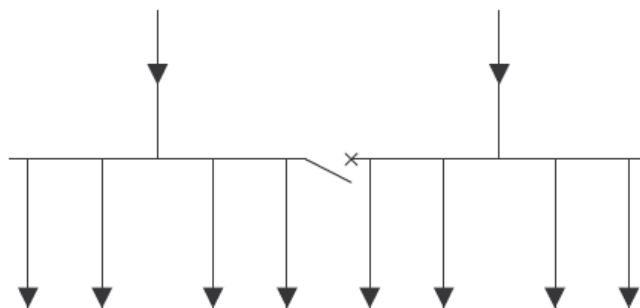
Obrázek 5. Nedělený systém přípojníc se dvěma zdroji [4]

- Podélně dělený systém přípojníc s odpojovačem, možné je pouze spínání bez zatížení. Každá sekce je vybavena vlastním zdrojem a doba přerušení je určená dobou potřebnou k sepnutí. U vypnuté části zařízení je možná revize a údržba.



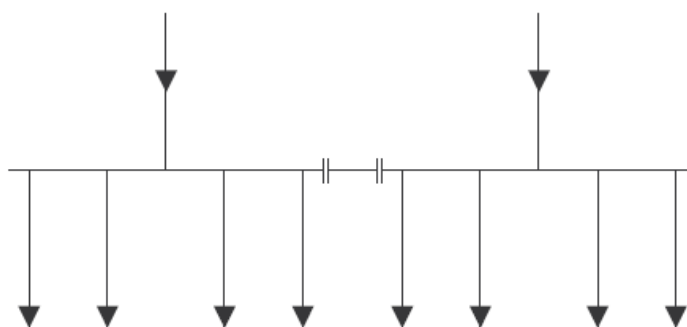
Obrázek 6. Podélně dělený systém přípojníc s odpojovačem [4]

- Podélně dělený systém přípojníc s vypínačem. V případě poruchy zdroje je dále možný provoz bez přerušení. U vypnuté části zařízení je možná revize a údržba.



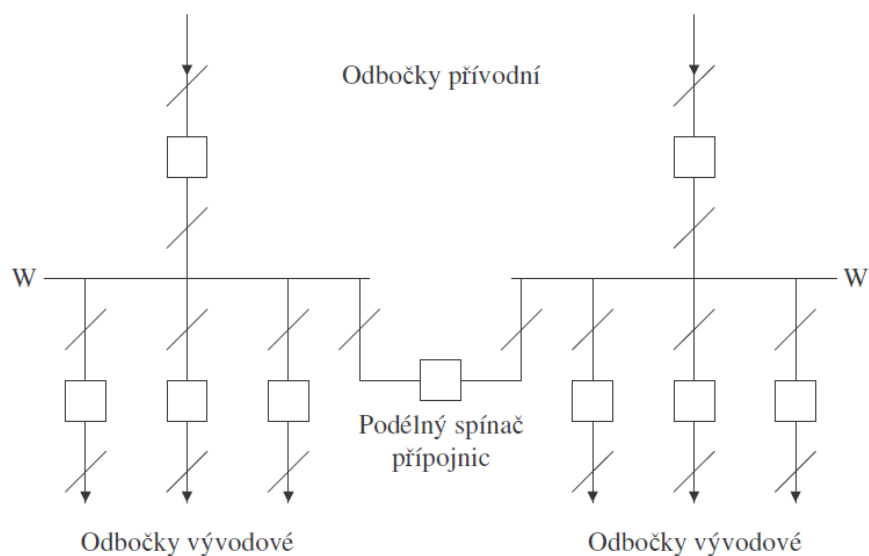
Obrázek 7. Podélně dělený systém přípojníc s vypínačem [4]

- Podélně dělený systém přípojníc se šroubovými spojkami. Každá sekce má vlastní zdroj a při poruše jednoho ze zdrojů je pak částečná záloha dalším zdrojem. Po dobu potřebnou k montáži spojek je nutné přerušení provozu. Údržba a revize je možná u vypnuté části zařízení.



Obrázek 8. Podélně dělený systém přípojníc se šroubovými spojkami [4]

Schéma se zjednodušeným značením vypínačů a odpojovačů a s názvy odboček. Odpojovače ve schématu jsou u rozváděčů s výsuvnými vypínači realizovány připojovacím zařízením vypínače. Toto schéma je často používáno v průmyslových rozvodech a v distribučních sítích.



Obrázek 9. Schéma se zjednodušeným značením vypínačů a odpojovačů [4]

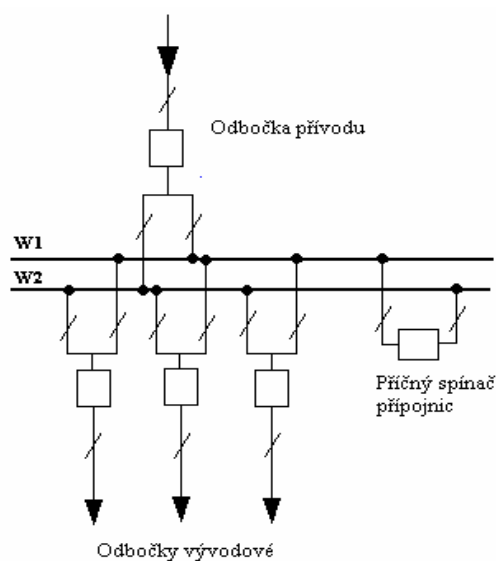
2.5.2. Dvojitý systém přípojnic

Dvojitý systém přípojnic se používá tam, kde není možné ani krátkodobé přerušení dodávky při revizi.

Tam, kde je nezbytné provoz odboček rozdělit do dvou skupin z některého z následujících důvodů:

- Rozdělení zdrojů k omezení zkratových proudů
- Současné napájení ze dvou nespolečných zdrojů
- Oddělení spotřebičů kolísavého příkonu od spotřebičů vyžadujících neměnné napětí
- Zajištění důležitých odběrů i v případě výpadku některých napáječů zbývajících napáječů menšího výkonu

Dvojitý systém přípojnic musí být vybaven příčným spínačem, aby bylo možné přepojování odboček na druhý systém mohlo provozovat bez přerušení provozu. Manipulovat s přípojnicovými odpojovači v sepnutých odbočkách lze pak pouze při sepnutém spínači přípojnic. [4]



Obrázek 10. Dvojitý systém přípojnic [4]

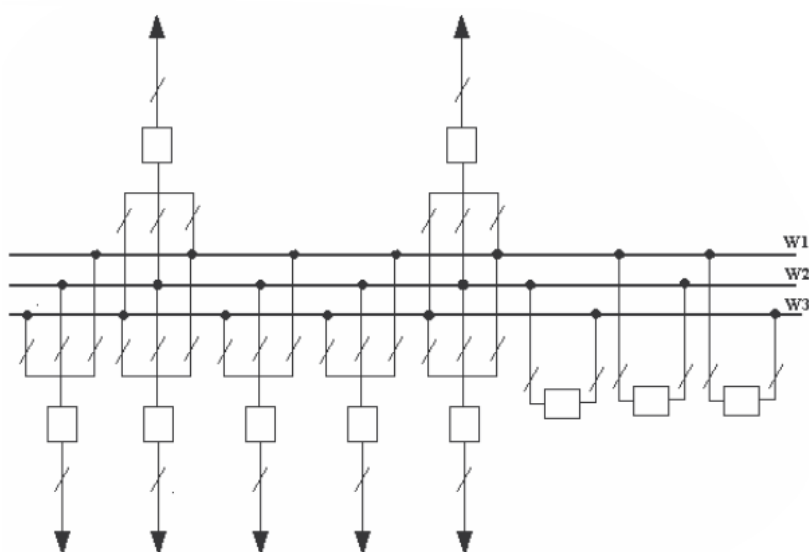
2.5.3. Trojitý systém přípojnic

Trojitý systém přípojnic se používá tam, kde je nutné trvalé oddělení provozu dvojitého systému přípojnic a pro revizi přípojnic není možné ani krátkodobé přerušení dodávky.

Tam, kde provoz je nutné rozdělit do tří skupin z jednoho z následujících případů:

- tam, kde je nezbytné rozdělit zdroje k omezení velkých zkratových nebo provozních proudů.
- tam, kde je nezbytné provozovat odděleně sítě stejného napětí s ohledem na důležitost provozu.

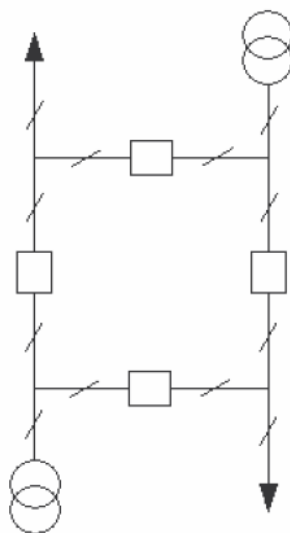
Schéma trojitého systému přípojnic je uvedeno na obrázku 11. U rozvodných zařízení s velkým množstvím odboček se používá podélné dělení přípojnicových systémů na sekce jako u dvojitého systému přípojnic. Běžné je jednoduché vybavení odpojovači mezi sekcemi.



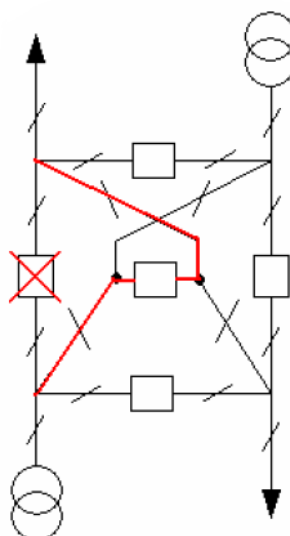
Obrázek 11. Trojitý systém přípojnic [4]

- **Okružní přípojnice**

Úseky přípojnic v rozvodnách jsou zapojeny do polygonu (trojúhelníku, čtyřúhelníku až osmiúhelníku). Tato schémata se volí tam, kde se požaduje omezení následků zkratů v rozvodně na minimální počet odboček.



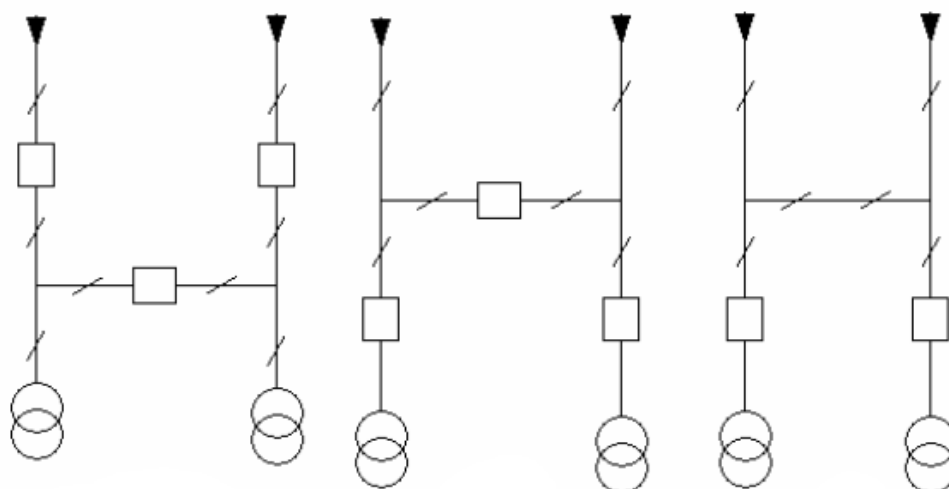
Obrázek 12. Okružní přípojnice [4]



Obrázek 13. Okružní přípojnice se záložním vypínačem [4]

- **Rozvodny bez přípojnic**

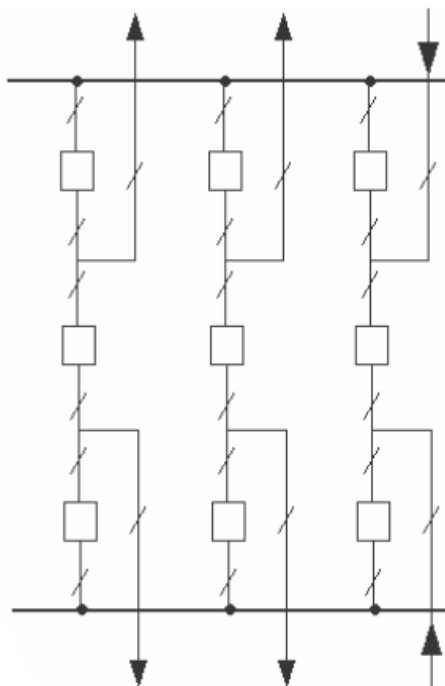
Jsou to rozvodná zařízení vvn s malým počtem (nejvýše šest) odboček. Schéma je zvláštním případem zapojení s okružními přípojnici, kdy jeden, případně dva úseky přípojnic jsou provedeny jako příčné spojky mezi odbočkami. Charakteristickým schématem používaným často u stanic vvn/vn je spojení do H.



Obrázek 14. H – schéma rozvodny [4]

- **Rozvodny s větším počtem vypínačů na jednu odbočku**

Schéma s větším počtem vypínačů na jednu odbočku se volí v rozvodnách s větším počtem odboček tam, kde se požaduje provoz odboček při poruše vypínače.



Obrázek 15. Rozvodna se třemi vypínači na dvě odbočky [4]

2.5.4. Odbočky

Odbočky lze podle účelu členit takto:

- 1) Odbočky hlavní
 - alternátorové (generátorové),
 - transformátorové - k hlavním transformátorům
 - k transformátorům vlastní spotřeby
 - vývodové - venkovním vedením (s reaktorem nebo bez něho)
 - kabelovým vedením (s reaktorem nebo bez něho)
 - motorové
 - kondenzátorové
 - tlumivkové
- 2) Odbočky pomocné
 - spínače hlavních přípojníc
 - podélné
 - příčné
 - kombinované
 - spínače pomocných přípojníc
 - odbočky pro měření napětí
 - odbočky pro bleskojistky
 - odbočky uzemňovací [4]

2.6. Rozvodny vvn a zvn

Rozvodny vvn a zvn tvoří součást elektrických stanic základní důležitosti, ve kterých se buď, připojují přívody od elektráren na dálková přenosová vedení, nebo tvoří uzlové napájecí body přenosových sítí. V klasické podobě se staví, jako venkovní, přičemž jsou vytvořeny souborem spínacích a rozvodných zařízení s venkovní porcelánovou izolací a hlavním izolačním prostředím je vzduch o atmosférickém tlaku. Pro jejich projekt a konstrukci platí rámcová pravidla umožňující velmi rozmanité provedení venkovních rozvodů podle požadovaného zapojení a prostorového umístění celé elektrické stanice. Při nedostatku místa nebo nepříznivých vnějších podmínkách s možností průmyslového znečištění izolace se začaly stavět vnitřní rozvodny vvn se vzduchovou izolací, v dnešní době však převládly pro tento účel zapouzdřené rozvodny s plynovou izolací SF₆.

Pro rozvodny vvn a zvn je rozhodující volba schématu zapojení primárních obvodů. Vzhledem k značné důležitosti takové stanice pro rozvodnou síť, klade se hlavní důraz na spolehlivost, aby i při vyřazení jednoho nebo několika obvodů bylo možno zabezpečit provoz stanice a dodávku energie do sítě. Proto se volí pro tyto rozvodny složitější schémata a při požadavku nezávislého provozu několika okruhů sítě se užívá několika systémů přípojníc. Pro zabezpečení náhrady obvodu vyřazeného při poruše nebo revizi se užívá dalších opatření, jako jsou pomocné přípojnice, přemostovací spojky, podélné a příčné dělení s možností přechodu na rezervní obvody atd.

Tyto rozvodny tvoří součást velkých elektrických stanic, a proto se požadavky na jejich vybavení týkají širšího souboru zařízení. Jsou to zejména:

- ochrana před přepětím,
- ochrana před nadproudy a zkraty,
- ochrana před nebezpečným dotykovým napětím a provedení uzemnění,
- provedení spojovacích zařízení pro dálkové řízení a měření, zajištění telefonního spojení případně příslušných vf spojů pro vedení on pomocí přiloženého kmitočtu nebo radiového spojení [2]

2.7. Průmyslové rozvody

Průmyslové provozovny jsou napájeny:

- a) z distribuční sítě
- b) ze závodních elektráren
- c) kombinací obou uvedených způsobů

Dělení průmyslových podniků dle odebíraného výkonu:

- Velké (s příkonem nad 50 MW) jsou připojeny na síť 110, popř. 220 kV
- Střední (15 – 50 MW) – 110 kV nebo síť vn
- Malé (pod 15 MW) – vn v závislosti na konkrétních místních podmínkách

Pro rozvod v průmyslových provozovnách se zřizuje jedna, popřípadě více transformoven nebo rozvoden, rozváděčů a rozvodnic napájených z jedné nebo více vstupních stanic.

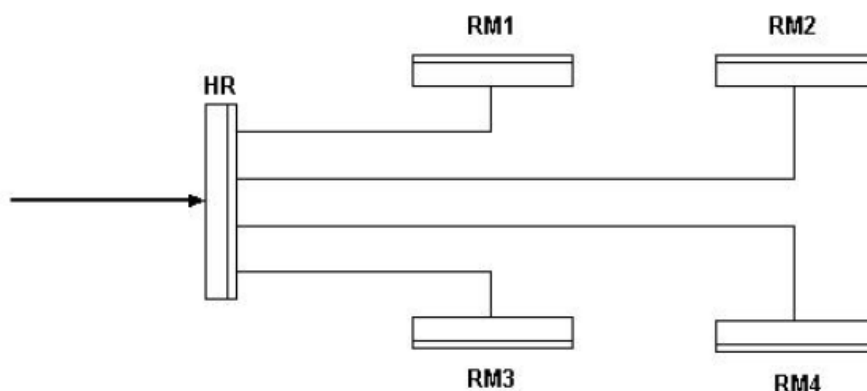
Doporučuje se umísťovat transformátory nebo jiné zdroje co nejbližší místu spotřeby.

U každé transformovny se zřizuje hlavní sekundární rozvodna, rozváděč nebo rozvodnice, z nichž se napájí jednotlivé spotřebiče, podružné rozvodnice, rozváděče nebo rozvodny.

Rozvod ke spotřebičům, podružným rozvodnicím, rozváděčům a rozvodnám se provádí převážně jako rozvod

2.7.1. Paprskový rozvod

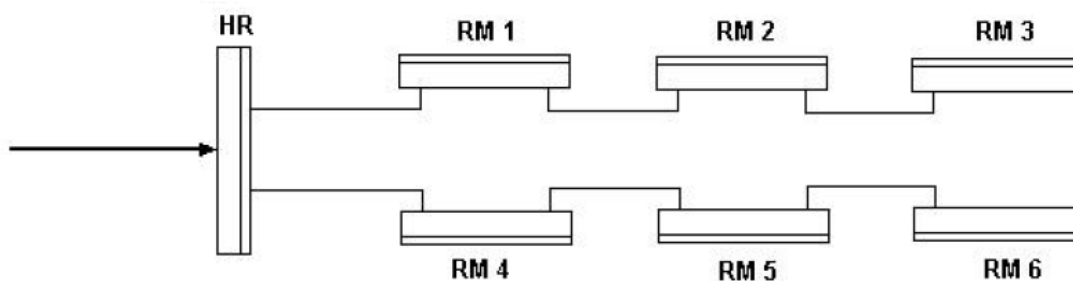
Paprskový rozvod je nejjednodušším a také nejlevnějším druhem rozvodu, který se používá v distribučním rozvodu NN nebo v menších celcích průmyslových závodů, kde nejsou spotřebiče prvního stupně důležitosti, tedy všude tam, kde nejsou zvýšené nároky na provozní spolehlivost. Právě menší spolehlivost je téměř jedinou nevýhodou tohoto druhu rozvodu, neboť každá porucha znamená vyřazení těch spotřebičů, které jsou napájeny postiženým paprskem. Jiná cesta pro napájení spotřebičů není u tohoto rozvodu k dispozici.



Obrázek 16. Paprskový rozvod [5]

2.7.2. Průběžný rozvod

Tento druh rozvodu je typický pro osvětlování komunikací, hodí se však též pro napájení jednotlivých maloodběratelů na vesnicích, nebo pro napájení větších a rozlehlějších průmyslových hal s drobnějšími spotřebiči, či pro osvětlení velkých prostorů. Vyznačuje se dlouhým průběžným vedením, z něhož jsou provedeny odbočky pro napájení jednotlivých spotřebičů či podružných rozvodnic, připojených paprskovou nebo smyčkovou odbočkou. Protože délky průběžných vedení mohou být značně velké, je důležitá kontrola úbytku napětí na délce vedení. Provozní spolehlivost průběžného rozvodu je stejná jako u paprskového, tedy poměrně nízká. [5]

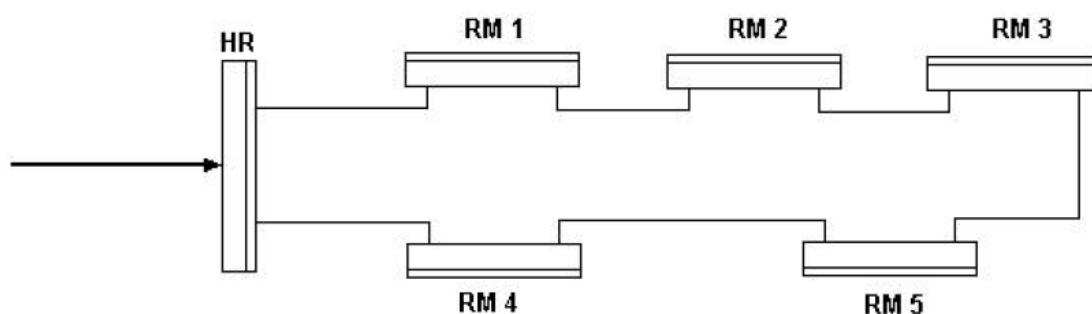


Obrázek 17. Průběžný rozvod [5]

2.7.3. Okružní rozvod

Okružní či smyčkový rozvod je proveden jako uzavřený okruh, ze kterého se napájí jednotlivé paprskové či smyčkové odbočky ke spotřebičům nebo k podružným rozváděčům.

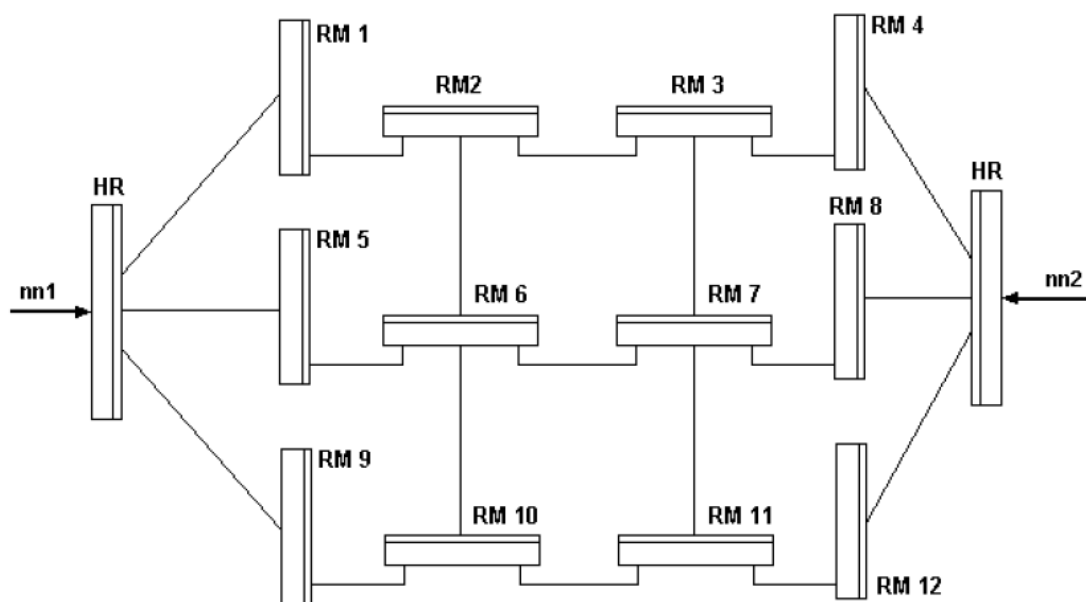
Jeho velkou výhodou je možnost napájení spotřebičů jednoho okruhu ze dvou stran, čímž se zvyšuje spolehlivost dodávky elektrické energie. Při poruše v některé části okruhu se poškozená část odpojí a zbytek se do provedení opravy provozuje jako dva paprskové rozvody. Z uvedených důvodů se okružní rozvod hodí pro náročnější spotřebiče a používá se často ve větších průmyslových závodech, nebo i v městské obytné zástavbě.



Obrázek 18. Okružní rozvod [5]

2.7.4. Mřížový rozvod

Mřížový rozvod je vytvořen alespoň dvěma napájecími místy s hlavními rozváděči a hustější sítí vzájemně propojených podružných rozváděčů. Tak vzniká rozvod, ve kterém jsou jednotlivé podružné rozváděče napájeny nejméně ze dvou či více směrů. Přitom některé uzlové rozváděče mohou propojovat větší počet paprsků. Tento druh rozvodu může pokrývat i velké plochy s četnými odběry elektrické energie a je tedy vhodný pro napájení husté městské zástavby nebo objektů velkých a rozsáhlých průmyslových závodů. Mřížový rozvod má pro svou variabilitu napájecích cest vysokou provozní spolehlivost, podmíněnou ovšem vysokými pořizovacími náklady a menší využitelností spojovacích cest. Bývá obvyklé, že mřížová síť je vytvořena kabely jednotného průřezu, což umožňuje větší množství alternativ provozu, avšak s menším využitím průřezů kabelů. [5]



Obrázek 19. Mřížový rozvod [5]

3. Konfigurace sítě ET a.s. a válcovny předvalků a hrubých profilů v TŽ a.s., Třinec

Jedním z největších podniků, který se u nás zabývá zpracováním železa, jsou Třinecké železárny. Tento výrobní podnik pro zajištění své výroby spotřebovává elektrickou energii ze tří nezávislých zdrojů.

Patří mezi ně:

- rozvodna Ropice, která je napájena vedeními z Lískovce a z Albrechtic,
- dvě linky z Polské rozvodny Mnisztwo,
- generátory Energetiky Třinec, a.s..

Třinecké železárny jsou rozděleny na severní a jižní část. Chod severní části zprostředkovávají rozvodny TII a TIII, které jsou zásobovány 110 kV z rozvodny v Ropicích. Rozvodna TII slouží k přeměně napětí na 22kV. V rozvodně TIII jsou dva transformátory, které transformují hladinu napětí na 6,3 kV.

Jižní část je zásobována rozvodnou TIV, která je napájena z Ropice a polské rozvodny Mnisztwo. Čtyři transformátory přeměňují napětí do podružných rozvodů na 6,3 kV, přičemž každý z nich má výkon 40 MVA. Rozvodna TIV je propojena přes dvouvinutový transformátor k rozvodně TII. Mezi zdroje v oblasti Jih patří i generátory o výkonu 25 MW a 15 MW z rozvodny EII.

3.1. Válcovna předvalků a hrubých profilů

Válcovna předvalků a hrubých profilů se zabývá výrobou bloku a brám pro brámové hospodářství. Válcovna předvalků se skládá ze čtyř částí:

- kroková pec,
- blokovna,
- vratná trať,
- střední trať.

Nejdříve se zpracuje vstupní vsázka v krokové peci, následně je tato ohřátá vsázka přepravena do válcoven a vyválena na daný rozměr. V blokovně dochází ke zpracování na ocelové kvádry, které jsou připraveny k přepravě na vratnou trať, kde se zpracovávají do různých profilů.

Hlavním a zároveň jediným dodavatelem elektrické energie je skupina Energetika Třinec a. s., na jejichž síť jsou napojeny rozvodny R2 a RAB, které dodávají energii pro výrobu.

V úvodu této kapitoly je zmíněno rozdělení napájení do Třineckých železáren na severní a jižní část. Stejně je tomu tak při napájení Válcovny předvalků a hrubých profilů. Rozvodna R2 zajišťuje napájení pro jižní část, tedy pro válcovací stolice Třineckých železáren. Napětí v severní části Válcoven předvalků a hrubých profilů pak zajišťuje rozvodna RAB, která zásobuje slévárnu a stripovací haly.

Rozvodna R2 již funguje od 80. let 20. století. Kobková rozvodna je součástí třípodlažní zděné budovy. V přízemí budovy je velín rozvodny, na druhém podlaží jsou podružné skříňové rozváděče R3.1, R3.2 a R3.3. Na třetím podlaží se nachází samostatná rozvodna R2. Budova je umístěna přímo v areálu Třineckých železáren. Celá rozvodna R2 je tvořena z 32 kobek, které jsou ve dvou řadách po 16 umístěny naproti sobě. V samotné rozvodně se nachází 2 systémy přípojníc W1 a W2 a také 2 příčné spínače přípojníc.

Rozvodna dále obsahuje přepětové ochrany, odpojovače, VN vypínače, podélné a příčné spojky mezi systémy a další přístroje pro měření.

Z nadřazených elektrických rozvodů TIV a EII je odvedena elektrická energie do rozvodny R2. K rozvodně R2 jsou z TIV přivedeny tři přívody, kde každý z nich je tvořen 7 paralelními kabely 6-AYKY 3 x 240 mm² o délce 800 m. Celkem tedy z rozvodny TIV vede 21 kabelů. Další dva přívody z rozvodny EII jsou tvořeny celkem 8 kabely 6-AYKY 3 x 240 mm² délky 280 m. Každý z těchto přívodů se skládá ze 4 kabelů.

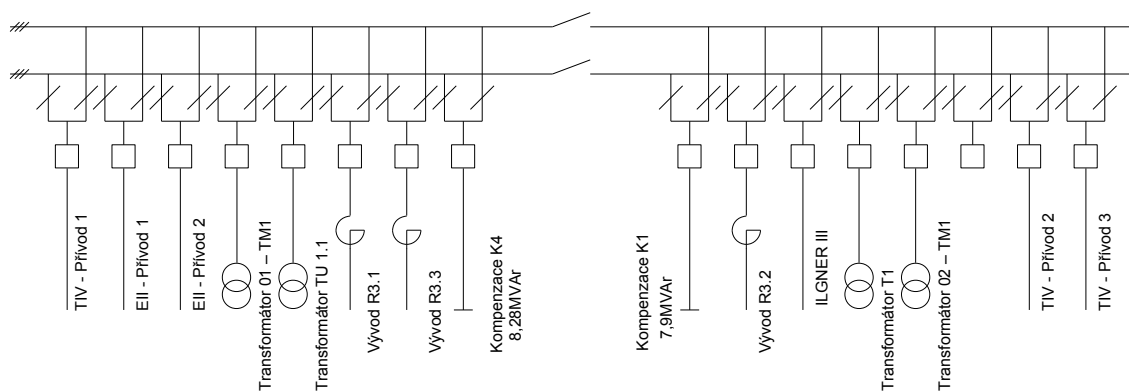
3.2. Kobková rozvodna

V podkapitole „Válcovna předvalků a hrubých profilů“ je již uvedeno, že se celá rozvodna R2 skládá z 32 kobek. Provoz je zajištěn jen necelými dvěma třetinami. Činných je tak pouze 19 kobek, zbývajících 13 slouží jako rezerva.

Kobky jsou využity takto:

- 2 kobky slouží pro měření,
- 2 kobky slouží pro příčné spínače přípojníc,
- 5 kobek přívodních,
- 1 kobka pro vývod na motor,
- 4 kobky pro vývod na transformátory,
- 3 kobky pro vývod do podružných rozváděčů,
- 2 kobky pro vývod na kompenzaci.

V rozvodně se nachází dva libovolně nahraditelné systémy přípojníc. Proto je možné kterýmkoliv přívodem napájet každou přípojnici a je reálné také každou z přípojníc připojit na kterýkoliv vývod. Tento fakt je způsoben především rozdělením kobek do dvou řad. Přičemž v každé z řad se nachází vždy 16 kobek. [8]



Obrázek 20. Přehledové schéma rozvodny R2 [8]

4. Možnosti optimalizace provozu rozvodných zařízení

V rozvodně R2 se nachází značné množství přístrojů, jako jsou například vypínače, odpojovače apod. Tyto přístroje jsou využity, ale ne tak, jak bylo původně naplánováno, při stavbě této rozvodny. Jmenovité hodnoty přístrojů, které se v kobkové rozvodně vyskytují, jsou zbytečně vysoké. To má za následek neúplné využití těchto přístrojů. Navíc jsou tyto přístroje značně zastaralé a po mnohaletém užívání i dosti opotřebované. Proto je nutné provést optimalizaci vhodným způsobem, abychom na dané rozvodně mohli snížit zkratový výkon. Jednou z nejlepších možných variant je postup, kdy do přívodu umístíme reaktor, jež omezuje zkratový výkon. Tímto krokem bude provedeno snížení zkratového výkonu. V další fázi pak můžeme pokračovat návrhem a následným výběrem moderních vhodných přístrojů. Ty budou vynikat především menšími jmenovitými hodnotami a budou tak lépe využity pro současné potřeby rozvodny R2. V rámci obnovení a optimalizace v rozvodně dojde i k obnovení materiálu přístrojů a tím i k prodloužení provozu celé rozvodny R2.

Následující podkapitola se detailně zabývá jednotlivými přístroji, které je nutné v rámci optimalizace nahradit. Text v následujících kapitolách se zaměřuje na podrobný výběr jednotlivých přístrojů z katalogů od různých výrobců. Dále je zde uvedeno rozmezí jmenovitých hodnot jednotlivých přístrojů, které jsou vhodné pro celkovou optimalizaci rozvodny a mohou tak být použity.

4.1. Odpojovače

Odpojovač slouží k odpojení částí vedení, sítí nebo strojů a zařízení po vypnutí příslušného úseku vypínačem. Odpojovač spojuje a rozpojuje nezatížený elektrický obvod mechanicky, s viditelnou drahou rozpojení, zpravidla za účelem revize, opravy nebo změny řazení, slouží především k ochraně osob pracujících na odpojených částech zařízení. V rozvodech vn, vvn a zvn se nespokojujeme pouze s vypnutím proudu vypínačem, ale vždy přerušujeme obvod na druhém místě odpojovačem.

Odpojovač má dvě pracovní polohy (zap., vyp.), které musí být spolehlivě signalizovány. Musí zajišťovat bezpečné odpojení příslušné části obvodu i při zvýšení napětí živého úseku vlivem přepětí (atmosférickým, spínacím), takže má předepsanou vyšší izolační hladinu. V zapnutém stavu musejí snést dynamické a tepelné namáhání vyvolané průchodem největšího zkratového proudu. Po jeho průchodu musejí být schopny dalšího provozu. [9]

4.1.1. Odpojovače SERW

Jmenovité napětí	7,2 kV
Jmenovitý kmitočet	50 Hz
Izolační hladina proti zemi mezi póly:	
Výdržné napětí při atmosférickém impulsu	60 kV
Krátkodobé výdržné napětí střídavé	20 kV
Izolační hladina v odpojovací dráze:	
Výdržné napětí při atmosférickém impulsu	70 kV
Krátkodobé výdržné napětí střídavé	23 kV
Jmenovitý proud	1250 1600 2000 2500 3150 A
Jmenovitý krátkodobý proud (1s)	25(31,5) 40 40 40 40 kA
Jmenovitý dynamický proud	63(80) 100 100 100 100 kA
Mechanická životnost spínací cykly	3000
Pohon: elektrický jmenovité napětí ovládací 230V, 50Hz jmenovité napětí elektromotoru 230V, 50Hz příkon elektromotoru 630W signální přepínač 7zap., 7vyp.	

Tabulka 1. Technické údaje odpojovače SERW [16]

4.1.2. Odpojovače IVEP

Jmenovité napětí	1,2 – 36 kV
Jmenovitý kmitočet	50 Hz
Jmenovitý proud	400 – 160 000 A
Jmenovitý krátkodobý proud (1s)	16 – 250 kA
Jmenovitý dynamický proud	40 – 625 kA
Minimální životnost	40 let
Pohon: ruční, ruční přes převodovku, motorové Typ motoru 12V DC, 24V DC, 48V DC, 60V DC, 110V DC, 220V DC, 230V AC, 400V AC Signalizace poloh Koncové spínače (každý zvlášť na pozici), přímo na hlavní hřídeli Vačkové spínače (vysoká zatížitelnost)	

Tabulka 2. Technické údaje odpojovače IVEP [12]

4.1.3. Odpojovače DRIBO

Jmenovité napětí	12 – 38,5 kV
Jmenovitý kmitočet	50 Hz
Jmenovitý proud	630 – 2500 A
Jmenovitý krátkodobý proud (1s)	20 – 40 kA
Jmenovitý dynamický proud	50 – 100 kA
Pro ovládání odpojovačů je možné použít: <ul style="list-style-type: none">• ruční pohony SHA a DK, při boční montáži přístrojů potom koncovku pro D-pohon nebo, jeli přístroj ve výšce, D-pohon,• lineární motorové pohony LM,• univerzální motorové pohony UM.	

Tabulka 3. Technické údaje odpojovače DRIBO [14]

4.2. Vypínače

Vypínače jsou elektrické přístroje, sloužící k zapínání a vypínání proudových obvodů pod zatížením. Spínají tedy elektrický výkon. Jelikož vypínají nadproudy i zkratové proudy musí být dimenzovány tak, aby tyto proudy bezpečně vypnuly.

Vakuové vypínače spolu s vypínači SF₆ patří k současným moderním vypínačům. K oddálení kontaktů při vypínání dochází ve vakuu, které obsahuje velmi malé množství vodivých částic. Tlak od 10⁻³ Pa a nižší nazýváme ve vakuové technice vysokým vakuem. Vakuum se chová jako izolant. Kontakty vakuových vypínačů jsou ve vakuu 10⁻⁴ až 10⁻⁶ Pa. Vypínání ve vakuu se podstatně liší od vypínání ve vzduchu, v jiných plynech či v oleji, protože kontakty se nacházejí v nevodivém prostředí, které se prakticky neionizuje.

Při vypínání se oddálí pohyblivý kontakt od pevného o několik milimetrů až centimetrů. Oblouk mezi kontakty vznikne odpařením kovu stykových ploch kontaktu. Působením tepla oblouku mají kovové páry velmi vysoký tlak a při nejbližším průchodu proudu nulou velmi lehce expandují do okolního prostoru. Kovové páry kondenzují na povrchu kontaktu a na zvláštním stínícím štítu, který obklopuje kontaktní prostor.

Výhody: nehořlavý, tichý, nevyfukuje ionizované plyny nebo plameny minimální opotřebení, krátkou vypínací dráhu (oddálení kontaktů)

Nevýhody: nutná mechanicky pevná a vakuově těsná nádoba, obtížné technologické zpracování materiálu pro kontakty [7] [9]

4.2.1. Vypínače Siemens

Jmenovité napětí	12 – 36 kV
Jmenovitý kmitočet	50 Hz
Jmenovitý proud	1250 – 4000 A
Výdržné napětí při atmosf. impulsu	60 – 170 kA
Mezní hodnota zkratového proudu	31,5 – 63 kA
Jmenovitý zapínací proud	80 – 160 kA
Pohon: motorový Typ motoru 24V DC, 48V DC, 60V DC, 110V DC, 220V DC, 100 AC 230V AC	

Tabulka 4. Technické údaje vypínače Siemens [13]

4.2.2. Vypínače Schneider Electric

Jmenovité napětí	7,2 – 36 kV
Jmenovitý kmitočet	50 Hz
Jmenovitý proud	630 – 3150 A
Výdržné napětí při atmosf. impulsu	60 – 170 kA
Mezní hodnota zkratového proudu	25 – 50 kA
Jmenovitý zapínací proud	50 – 100 kA
Pohon: motorový Typ motoru 24V DC, 48V DC, 60V DC, 110V DC, 220V DC, 100 AC, 230V AC	

Tabulka 5. Technické údaje vypínače Schneider Electric [11]

4.2.3. Vypínače ABB

Jmenovité napětí	12 – 40,5 kV
Jmenovitý kmitočet	50 Hz
Jmenovitý proud	630 – 3150 A
Výdržné napětí při atmosf. impulsu	60 – 95 kA
Jmenovitý zkratový proud	16 – 40 kA
Jmenovitý zapínací proud	40 – 158 kA
Pohon: motorový Typ motoru 24V DC, 30V DC, 48V DC, 60V DC, 110V DC, 220V DC, 250V DC, 100 AC, 230V AC, 250V AC	

Tabulka 6. Technické údaje vypínače ABB [15]

5. Výpočet zkratových poměrů na rozvodně R2

5.1. Předpoklady výpočtu

Výpočet maximálních a minimálních zkratových proudů vychází z následujících zjednodušení:

- Po dobu trvání zkratového proudu se nemění typ zkratu, tj. trojfázový zkrat zůstává trojfázovým a zkrat mezi fází a zemí zůstává po celou dobu zkratu zkratem mezi fází a zemí
- Po dobu zkratu nedochází k žádné změně v síti.
- Uvažují se impedance transformátorů pro přepínače odboček v základní poloze. To je přípustné, protože je zaveden korekční součinitel pro impedance K_T pro síťové transformátory.
- Odpory oblouku se neuvažují.
- Všechny kapacity vedení a paralelní admitance a netočivé statické zátěže jsou zanedbány vyjma paralelních admitancí v netočivé soustavě. [6]

5.2. Zkratové impedance elektrických zařízení

Síťové napáječe

$$Z_Q = \frac{c \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3} \cdot I_{kQ}''} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_k} \quad [\Omega; V; A; VA] \quad (1)$$

Z_Q sousledná zkratová impedance soustavy,
 c napěťový činitel,
 U_n jmenovité napětí soustavy,
 I_{kQ}'' rázový zkratový proud soustavy,
 S_k zkratový výkon soustavy.

Jmenovité napětí U_n	Napěťový součinitel	
	c_{\max}	c_{\min}
Nízké napětí 100 V až 1000 V	1,1	0,95
Vysoké napětí > 1kV až 35 kV	1,1	1
Velmi vysoké napětí > 35 kV	1,1	1

Tabulka 7. Napěťový součinitel [6]

Transformátory

Dvouvinut'ové transformátory

$$Z_T = \frac{u_{kr}}{100} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} \quad [\Omega; \%; A; VA] \quad (2)$$

$$R_T = \frac{u_{Rr}}{100} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{P_{krT}}{3I_{rT}^2} \quad [\Omega; \%; A; VA; W; A] \quad (3)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad [\Omega; \Omega; \Omega] \quad (4)$$

kde:

U_{rT} jmenovité napětí transformátoru na straně vyššího nebo nižšího napětí

I_{rT} jmenovitý proud transformátoru na straně vyššího nebo nižšího napětí

S_{rT} jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru

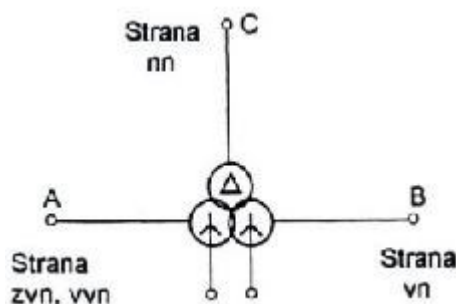
P_{krT} jmenovité ztráty nakrátko transformátoru

u_{kr} jmenovité napětí nakrátko v procentech

u_{Rr} činná složka jmenovitého napětí nakrátko transformátoru v procentech

Trojvinut'ové transformátory

V případě trojvinut'ových transformátorů lze sousledné zkratové impedance \underline{Z}_A , \underline{Z}_B , \underline{Z}_C trojvinut'ových transformátorů lze vypočítat pomocí tří zkratových impedancí (vztažených na stranu A transformátoru): [6]



Obrázek 21. Označení zapojení vinutí trojvinut'ový transformátoru [6]

$$\underline{Z}_{AB} = \left(\frac{u_{RrAB}}{100\%} + j \frac{u_{XrAB}}{100\%} \right) \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAB}} \quad [\Omega; \%; \%; V; VA] \quad (\text{strana C rozpojena}) \quad (5)$$

$$\underline{Z}_{AC} = \left(\frac{u_{RrAC}}{100\%} + j \frac{u_{XrAC}}{100\%} \right) \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAC}} \quad [\Omega; \%; \%; V; VA] \quad (\text{strana B rozpojena}) \quad (6)$$

$$\underline{Z}_{BC} = \left(\frac{u_{RrBC}}{100\%} + j \frac{u_{XrBC}}{100\%} \right) \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTBC}} \quad [\Omega; \%; \%; V; VA] \quad (\text{strana A rozpojena}) \quad (7)$$

$$u_{Xr} = \sqrt{u_{kr}^2 - u_{Rr}^2} \quad (8)$$

$$\underline{Z}_A = \frac{1}{2}(\underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{AC} - \underline{Z}_{BC}) \quad (9)$$

$$\underline{Z}_B = \frac{1}{2}(\underline{Z}_{BC} + \underline{Z}_{AB} - \underline{Z}_{AC}) \quad (10)$$

$$\underline{Z}_C = \frac{1}{2}(\underline{Z}_{AC} + \underline{Z}_{BC} - \underline{Z}_{AB}) \quad (11)$$

,kde:

U_{rTA} jmenovité napětí na straně A

S_{rTAB} jmenovitý zdánlivý výkon mezi stranami A, B

S_{rTAC} jmenovitý zdánlivý výkon mezi stranami A, C

S_{rTBC} jmenovitý zdánlivý výkon mezi stranami B, C

u_{RrAB} jmenovité činné a induktivní složky napětí nakrátko uvedeného

u_{XrAB} v procentech mezi stranami A a B

u_{RrAC} jmenovité činné a induktivní složky napětí nakrátko uvedeného

u_{XrAC} v procentech mezi stranami A a C

u_{RrBC} jmenovité činné a induktivní složky napětí nakrátko uvedeného

u_{XrBC} v procentech mezi stranami B a C [6]

Venkovní vedení a kabely

Souslednou zkratovou impedanci $\underline{Z}_L = R_L + jX_L$ lze vypočítat z parametrů vodiče, jako jsou průřezy a rozteče vodičů. Netočivé impedance je možné vypočítat s pomocí poměrů $R_{(0)L}/R_L$ a $X_{(0)L}/X_L$.

Činná rezistance na jednotku délky R'_L venkovních vedení při teplotě vodiče 20 °C lze vypočítat ze jmenovitého průřezu q_n a rezistivity ρ :

$$R'_L = \frac{\rho}{q_n} \quad (12)$$

Reaktanci na jednotku délky X'_L pro venkovní vedení je možné vypočítat za předpokladu, že je provedena transpozice vedení ze vzorce:

$$X'_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{1}{4 \cdot n} + \ln \frac{d}{r} \right) = f \cdot \mu_0 \cdot \left(\frac{1}{4 \cdot n} + \ln \frac{d}{r} \right) \quad (13)$$

,kde:

d geometrická střední vzdálenost mezi vodiči

r poloměr vodiče, v případě svazkových vodičů se za r dosadí $r_B = \sqrt[n]{nrR^{n-1}}$, kde R je poloměr svazku

n počet vodičů ve svazku

μ_0 $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ H/m [6]

Reaktory omezující zkratový proud

Sousledné, zpětné a netočivé zkratové impedance jsou stejné za předpokladu geometrické souměrnosti. Reaktory omezující zkratový proud se považují za součást zkratové impedance.

$$Z_R = \frac{u_{kR}}{100\%} \cdot \frac{Un}{\sqrt{3} \cdot I_{rR}} [\Omega; \%; V; A] \text{ a } R_R \ll X_R \quad (14)$$

,kde:

u_{kR} a I_{rR} uvedeny na štítku

Un jmenovité napětí soustavy [6]

Asynchronní motory

Motory vysokého napětí a nízkého napětí přispívají k počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu I''_k , k nárazovému zkratovému proudu i_p , k souměrnému zkratovému vypínacímu proudu I_b a u nesouměrných zkratů také k ustálenému zkratovému proudu I_k .

Příspěvek motorů vn se musí zahrnout do výpočtu maximálního zkratového proudu. Příspěvek motorů nn se musí zahrnout do výpočtu ve vlastní spotřebě elektráren a v průmyslových a podobných rozvodech. Příspěvek asynchronních motorů v nízkonapěťové soustavě ke zkratovému proudu I''_k se může zanedbat, jestliže tento příspěvek není větší než 5% počátečního zkratového proudu I''_{kM} , vypočítaného bez příspěvku těchto motorů. [6]

$$Z_M = \frac{1}{I_{LR} // I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}^2}{S_{rM}} [\Omega; -; V; VA] \quad (15)$$

,kde:

U_{rM} jmenovité napětí motoru

I_{rM} jmenovitý proud motoru

S_{rM} jmenovitý zdánlivý příkon motoru

$I_{LR} // I_{rM}$ poměr záběrného proudu k jmenovitému proudu motoru při zabrzděném motoru [6]

5.3. Rozvodna napájena jedním přívodem

Impedance sítě

$$Z_s = \frac{c \cdot Un^2}{S_k} = \frac{1,1 \cdot 6000^2}{600 \cdot 10^6} = 0,066\Omega$$

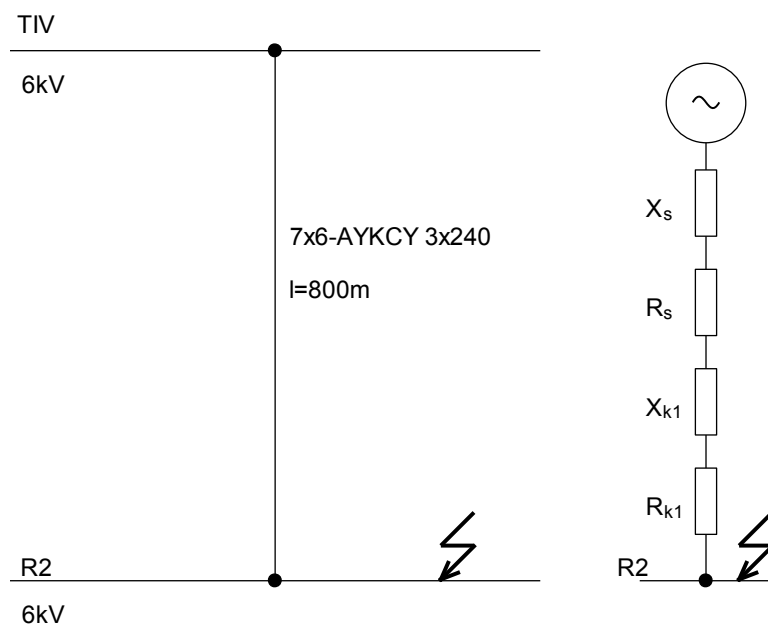
Reaktance sítě

$$X_s = 0,987 \cdot Z_s = 0,987 \cdot 0,066 = 0,065\Omega$$

Činný odpor sítě

$$R_s = 0,987 \cdot X_s = 0,16 \cdot 0,065 = 0,01\Omega$$

Bez reaktoru



Obrázek 22. Schéma rozvodny napájena jedním přívodem a náhradní schéma

Indukčnost kabelu

$$L_k = 0,28mH/km$$

Odpor kabelu

$$R_k = 0,125\Omega/km$$

Reaktance kabelu

$$X_k = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_k = 2 \cdot \pi \cdot 500 \cdot 280 \cdot 10^{-6} = 0,088\Omega$$

Impedance kabelu

$$Z_{kab} = (R_k + jX_k) \cdot \frac{l}{n} = (0,125 + j0,088) \cdot \frac{0,8}{7} = (0,014 + j0,01)\Omega$$

Celková impedance

$$Z_c = R + jX = (0,025 + j0,075) \Omega$$

$$|Z_c| = \sqrt{0,025^2 + 0,075^2} = 0,079\Omega$$

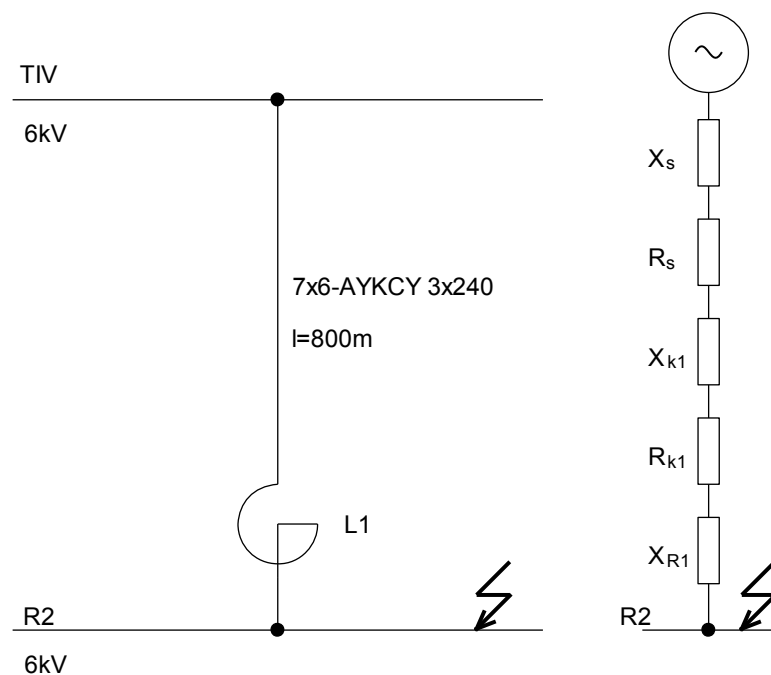
Zkratový proud

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot Un}{\sqrt{3} \cdot |Z_c|} = \frac{1,1 \cdot 6000}{\sqrt{3} \cdot 0,079} = 48,1kA$$

Zkratový výkon

$$S''_{k3} = \sqrt{3} \cdot Un \cdot I''_{k3} = \sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 48,1 \cdot 10^3 = 500MVA$$

S reaktorem $u_k = 5\%$



Obrázek 23. Schéma rozvodny napájena jedním přívodem s reaktorem a náhradní schéma

Impedance reaktoru

$$Z_R = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{Un}{\sqrt{3} \cdot I_{Rn}} = \frac{5}{100} \cdot \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 1000} = j0,173\Omega$$

Celková impedance

$$Z_c = Z_s + Z_{kab} + Z_R = (0,025 + j0,248) \Omega$$

$$|Z_c| = \sqrt{0,025^2 + 0,248^2} = 0,25\Omega$$

Zkratový proud

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot Un}{\sqrt{3} \cdot |Z_c|} = \frac{1,1 \cdot 6000}{\sqrt{3} \cdot 0,25} = 15,3kA$$

Zkratový výkon

$$S''_{k3} = \sqrt{3} \cdot Un \cdot I''_{k3} = \sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 15,3 \cdot 10^3 = 159MVA$$

S reaktorem $u_k=8\%$

Impedance reaktoru

$$Z_R = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{Un}{\sqrt{3} \cdot I_{Rn}} = \frac{8}{100} \cdot \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 1000} = j0,277\Omega$$

Celková impedance

$$Z_c = R + jX = (0,025 + j0,352)\Omega$$

$$|Z_c| = \sqrt{0,025^2 + 0,352^2} = 0,353\Omega$$

Zkratový proud

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot Un}{\sqrt{3} \cdot |Z_c|} = \frac{1,1 \cdot 6000}{\sqrt{3} \cdot 0,353} = 10,8kA$$

Zkratový výkon

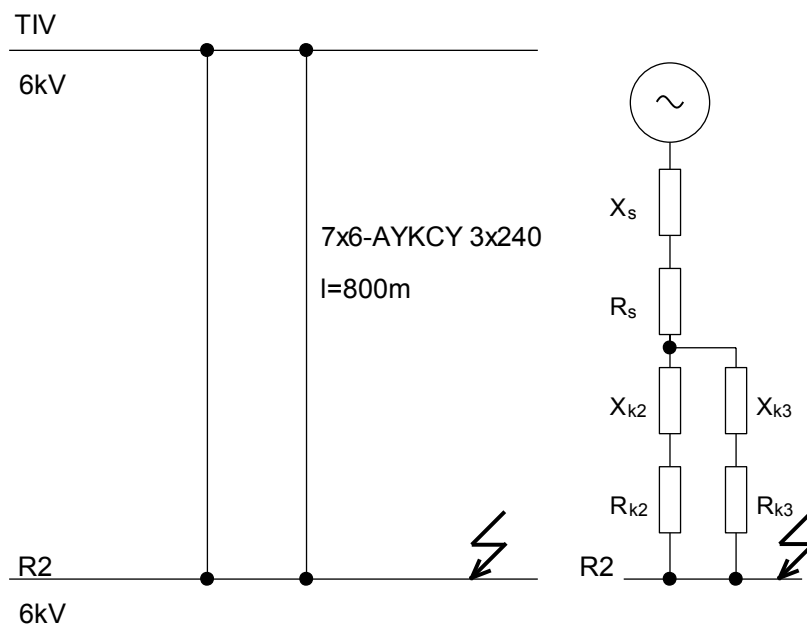
$$S''_{k3} = \sqrt{3} \cdot Un \cdot I''_{k3} = \sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 10,8 \cdot 10^3 = 112MVA$$

Reaktor	Počet kabelů	$ Z_{cca} [\Omega]$	$I_{k3}["kA]$	$S_{k3}["MVA]$
—	3	0,099	38,6	401
	4	0,090	42,3	440
	5	0,085	44,9	467
	6	0,082	46,8	486
	7	0,079	48,1	500
$u_k=5\%$	3	0,265	14,4	149
	4	0,258	14,7	153
	5	0,254	15,0	156
	6	0,252	15,1	157
	7	0,250	15,3	159
$u_k=8\%$	3	0,368	10,3	108
	4	0,362	10,5	110
	5	0,358	10,7	111
	6	0,355	10,7	112
	7	0,353	10,8	112

Tabulka 8. Přehled vypočtených hodnot pro napájení jedním přívodem

5.4. Rozvodna napájena dvěma přívody

Bez reaktoru



Obrázek 24. Schéma rozvodny napájena dvěma přívody a náhradní schéma

Impedance sítě

$$Z_s = 0,066\Omega$$

Reaktance sítě

$$X_s = 0,065\Omega$$

Činný odpor sítě

$$R_s = 0,01\Omega$$

Impedance kabelu

$$Z_{kab} = (0,014 + j0,01)\Omega$$

Celková impedance

$$Z_c = Z_s + \frac{Z_{kab} \cdot Z_{kab}}{Z_{kab} + Z_{kab}} = (0,017 + j0,07) \Omega$$

$$|Z_c| = \sqrt{0,017^2 + 0,07^2} = 0,072\Omega$$

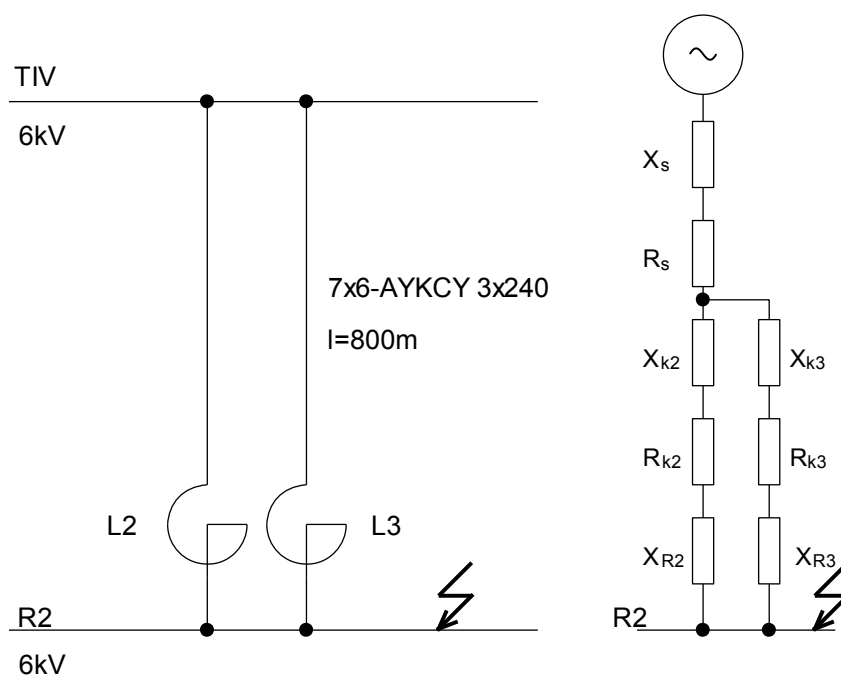
Zkratový proud

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot Un}{\sqrt{3} \cdot |Z_c|} = \frac{1,1 \cdot 6000}{\sqrt{3} \cdot 0,072} = 52,7 kA$$

Zkratový výkon

$$S''_{k3} = \sqrt{3} \cdot Un \cdot I''_{k3} = \sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 52,7 \cdot 10^3 = 547 MVA$$

S reaktorem $u_k = 5\%$



Obrázek 25. Schéma rozvodny napájena dvěma přívody s reaktory a náhradní schéma

Impedance reaktoru

$$Z_R = j0,173 \Omega$$

Celková impedance

$$Z_c = Z_s + \frac{(Z_{kab} + Z_R) \cdot (Z_{kab} + Z_R)}{(Z_{kab} + Z_R) + (Z_{kab} + Z_R)} = (0,017 + j0,156) \Omega$$

$$|Z_c| = \sqrt{0,017^2 + 0,156^2} = 0,16 \Omega$$

Zkratový proud

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot Un}{\sqrt{3} \cdot |Z_c|} = \frac{1,1 \cdot 6000}{\sqrt{3} \cdot 0,16} = 24,2 kA$$

Zkratový výkon

$$S''_{k3} = \sqrt{3} \cdot Un \cdot I''_{k3} = \sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 24,2 \cdot 10^3 = 251 MVA$$

S reaktorem $u_k=8\%$

Impedance reaktoru

$$Z_R = j0,277\Omega$$

Celková impedance

$$Z_c = Z_s + \frac{(Z_{kab} + Z_R) \cdot (Z_{kab} + Z_R)}{(Z_{kab} + Z_R) + (Z_{kab} + Z_R)} = (0,017 + j0,2) \Omega$$

$$|Z_c| = \sqrt{0,017^2 + 0,2^2} = 0,21\Omega$$

Zkratový proud

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot Un}{\sqrt{3} \cdot |Z_c|} = \frac{1,1 \cdot 6000}{\sqrt{3} \cdot 0,21} = 18,2kA$$

Zkratový výkon

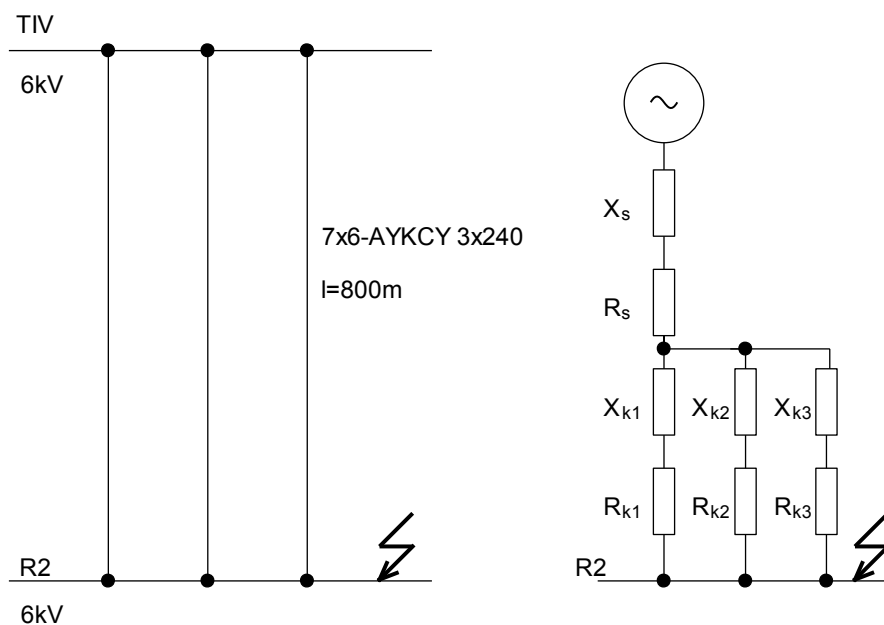
$$S''_{k3} = \sqrt{3} \cdot Un \cdot I''_{k3} = \sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 18,2 \cdot 10^3 = 189MVA$$

Reaktor	Počet kabelů	$ Z_{cca} [\Omega]$	$I_{k3}''[kA]$	$S_{k3}''[MVA]$
—	3	0,082	46,8	486
	4	0,077	49,2	512
	5	0,075	50,8	528
	6	0,073	51,9	539
	7	0,072	52,7	547
$u_k=5\%$	3	0,166	23,0	239
	4	0,162	23,5	244
	5	0,160	23,8	247
	6	0,159	24,0	249
	7	0,158	24,2	251
$u_k=8\%$	3	0,217	17,5	182
	4	0,214	17,8	185
	5	0,212	18,0	187
	6	0,210	18,1	188
	7	0,209	18,2	189

Tabulka 9. Přehled vypočtených hodnot pro napájení dvěma přívody

5.5. Rozvodna napájena třemi přívody

Bez reaktoru



Obrázek 26. Schéma rozvodny napájena třemi přívody a náhradní schéma

Impedance sítě

$$Z_s = 0,066\Omega$$

Reaktance sítě

$$X_s = 0,065\Omega$$

Činný odpor sítě

$$R_s = 0,01\Omega$$

Impedance kabelu

$$Z_{kab} = (0,014 + j0,01)\Omega$$

Celková impedance

$$Z_c = Z_s + \frac{Z_{kab}}{3} = (0,015 + j0,068)\Omega$$

$$|Z_c| = \sqrt{0,015^2 + 0,068^2} = 0,07\Omega$$

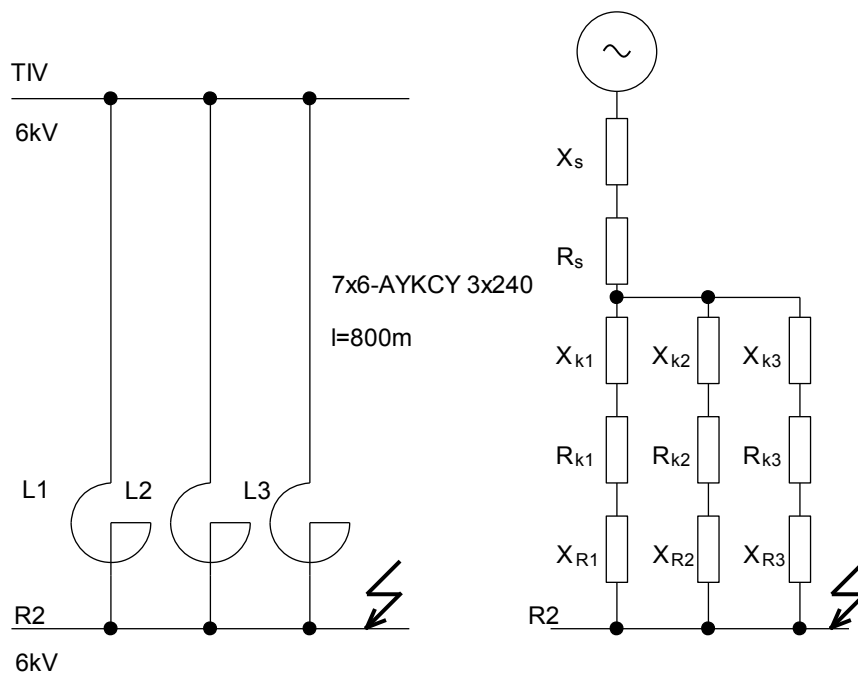
Zkratový proud

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot Un}{\sqrt{3} \cdot |Z_c|} = \frac{1,1 \cdot 6000}{\sqrt{3} \cdot 0,07} = 54,3kA$$

Zkratový výkon

$$S''_{k3} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3} = \sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 54,3 \cdot 10^3 = 564 \text{ MVA}$$

S reaktorem $u_k = 5\%$



Obrázek 27. Schéma rozvodny napájena třemi přívody s reaktory a náhradní schéma

Impedance reaktoru

$$Z_R = j0,173 \Omega$$

Celková impedance

$$Z_c = Z_s + \frac{(Z_{kab} + Z_R)}{3} = (0,015 + j0,126) \Omega$$

$$|Z_c| = \sqrt{0,015^2 + 0,126^2} = 0,13 \Omega$$

Zkratový proud

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_c|} = \frac{1,1 \cdot 6000}{\sqrt{3} \cdot 0,13} = 30 \text{ kA}$$

Nárazový zkratový proud

$$i_p = \sqrt{2} \cdot \kappa \cdot I''_k$$

$$i_p = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 30 = 67,8 \text{ kA}$$

Zkratový výkon

$$S''_{k3} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3} = \sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 30 \cdot 10^3 = 311 \text{ MVA}$$

S reaktorem $u_k=8\%$

Impedance reaktoru

$$Z_R = j0,277\Omega$$

Celková impedance

$$Z_c = Z_s + \frac{(Z_{kab} + Z_R)}{3} = (0,015 + j0,16)\Omega$$

$$|Z_c| = \sqrt{0,015^2 + 0,16^2} = 0,162\Omega$$

Zkratový proud

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot Un}{\sqrt{3} \cdot |Z_c|} = \frac{1,1 \cdot 6000}{\sqrt{3} \cdot 0,162} = 23,6kA$$

Zkratový výkon

$$S''_{k3} = \sqrt{3} \cdot Un \cdot I''_{k3} = \sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 23,6 \cdot 10^3 = 245MVA$$

Reaktor	Počet kabelů	$ Z_{cca} [\Omega]$	$I_{k3}''[kA]$	$S_{k3}''[MVA]$
—	3	0,076	50,1	521
	4	0,073	51,9	539
	5	0,072	53,0	551
	6	0,071	53,8	559
	7	0,070	54,3	564
$u_k=5\%$	3	0,132	28,8	299
	4	0,130	29,3	304
	5	0,129	29,6	308
	6	0,128	29,8	310
	7	0,127	30,0	311
$u_k=8\%$	3	0,167	22,9	238
	4	0,164	23,2	241
	5	0,163	23,4	243
	6	0,162	23,5	244
	7	0,162	23,6	245

Tabulka 10. Přehled vypočtených hodnot pro napájení třemi přívody

6. Návrh úprav sítě

Jedním z dílčích cílů celé práce byl samotný návrh úprav sítě. Ten spočívá v optimalizaci rozvodu. Než však provedu samotnou optimalizaci, bylo nutné vypočíst základní hodnoty. Z vypočtených hodnot zkratových proudů, které uvádím v předchozí kapitole, lze jednoznačně vybrat přístroje s vhodnými parametry pro využití v rozvodně.

Varianta, která je nejvhodnější pro snížení zkratového výkonu a tím vhodná pro optimalizaci je vložení reaktorů do přívodů z rozvodny TIV do R2. Vlivem snížení samotných zkratových výkonu je možno upravit vybavení rozvodny, tak aby se zmodernizovaly přístroje a zároveň se snížily jejich jmenovité hodnoty i investice při rekonstrukci rozvodny R2. Nejvyšší hodnota zkratového proudu je 30kA při napájení třemi přívody s reaktory o jmenovitém proudu 1000A a napětí nakrátko 5%. Nárazový zkratový proud je 67,8kA. Pro tyto dvě hodnoty vyberu z katalogů přístroje s vhodnými parametry.

V následujících podkapitolách se budu zabývat jednotlivými výrobci těchto přístrojů a jejich jmenovitými hodnotami. Pro úplnost optimalizace zajistím počet potřebných kusů všech přístrojů. V závěru celé práce pak provedu finální zhodnocení.

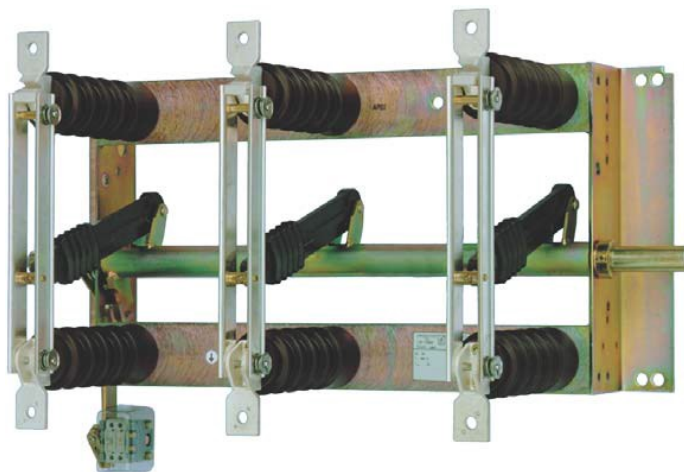
Číslo kobky	Odpojovače[kS]				Vypínače[kS]		
	400A	1250A	2000A	2500A	630A	1250A	2500A
1	0	2	0	0	0	0	0
2	0	0	3	0	0	0	1
3	0	3	0	0	0	1	0
4	0	3	0	0	0	1	0
5	0	2	0	0	1	0	0
9	0	2	0	0	0	1	0
11	0	0	0	2	0	0	1
12	0	2	0	0	0	1	0
14	0	2	0	0	0	1	0
15	0	2	0	0	0	1	0
16	0	2	0	0	0	1	0
17	0	2	0	0	0	1	0
18	0	2	0	0	0	1	0
22	0	0	0	2	0	0	1
23	2	0	0	0	1	0	0
26	0	2	0	0	0	1	0
30	0	0	3	0	0	0	1
31	0	0	3	0	0	0	1
32	0	2	0	2	0	0	0
Celkem[kS]	2	28	9	6	2	10	5

Tabulka 11. Přehled přístrojů v rozvodně R2 [8]

6.1. Odpojovače DRIBO

Tyto odpojovače od firmy DRIBO jsem vybral podle hodnot, které uvádím v následující tabulce. Typy uvedených odpojovačů se nejlépe hodí pro modernizaci rozvodny R2. Firma vyrábí i odpojovače s menším jmenovitým proudem, ale ty bohužel nevyhovují jmenovité hodnotě krátkodobého proudu a dynamickému proudu.

Všechny ocelové dílce a rámy jsou galvanicky pozinkovány a chromátovány. Hřídele pohonu jsou uloženy v ložiscích z bronzu a je tedy vyloučeno jejich zarezivění. Všechny díly proudovodné dráhy jsou vyrobeny z tažené elektrolytické mědi a jsou postříbřeny (tloušťka vrstvy 10 μm). Nerezové přítlačné pružiny dodávají dostatečný tlak pro spínací kontakty. Za normálních pracovních podmínek jsou odpojovače po dobu deseti let bezúdržbové. [14]



Obrázek 28. Odpojovač DRIBO ITr [14]

Typ odpojovače	Jmenovité napětí	Jmenovitý proud	Jmenovitý krátkodobý proud	Jmenovitý dynamický proud
	U_r [kV]	I_r [A]	I_k [kA]	I_p [kA]
ITr 12-1600/40	12	1600	40	100
ITr 12-2500/40	12	2500	40	100

Tabulka 12. Technické údaje odpojovačů DRIBO ITr [14]

Odpojovače typu ITr 12-1600/40 budou v rozvodně R2 umístěny v počtu 30 kusů, ty pak rozděleny do kobek podle potřeby. Stejně budou také rozmístěny i odpojovače typu ITr 12-2500/40, kterých bude v rozvodně 15 kusů. Pohon bude zajišťovat motor o napájecím napětí 110V DC.

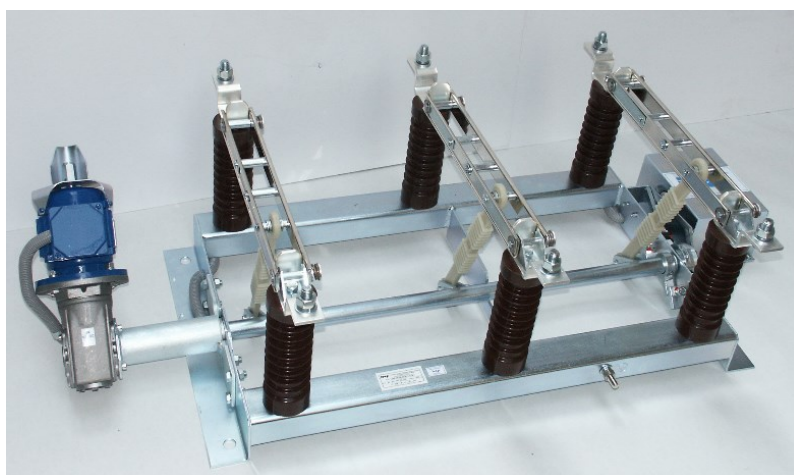
6.2. Odpojovače IVEP

Druhou firmou, která zabývá výrobou odpojovačů je IVEP. Ve firemních katalozích jsem, proto vybral typy odpojovačů, které by se opět daly v rozvodně použít podle jmenovitých hodnot uvedených v tabulce. Firma vyrábí odpojovače, které mají nižší jmenovité hodnoty proudu a zároveň také vydrží požadovaný jmenovitý krátkodobý a dynamický proud.

Konstrukční nosné prvky jsou z válcovaných profilů a ocelových plechů s povrchovou ochranou proti korozi galvanickým zinkováním. Dílce jsou zhotoveny s elektrolytické postříbřené mědi. Stabilní kontaktní sílu zajišťují nezávislé korozivzdorné tlačné pružiny. Proudovodná dráha je umístěna na podpěrných izolátorech z epoxidové pryskyřice nebo porcelánu. Elektromotorické pohony odpojovačů QAK jsou osazeny ovládacími pohonovými jednotkami v provedeních P-CB a P-CBP.

Ovládací pohonové jednotky odpojovačů QAK jsou vybaveny mechanismem umožňující nouzovou ruční manipulaci. Mechanismus pro ruční nouzovou manipulaci lze objednat v několika provedeních v závislosti na dispozičním umístění odpojovače v kobce, přístupnosti a požadavku obsluhy na komfortnost nouzového ovládání.

Nouzovou ruční manipulaci pomocí vyvedené hřídele rotoru motoru je umožněno otevírání a zavírání odpojovače přes kompletní převod včetně převodového předstupně. Tím je požadavek na točivý silový moment vyvozovaný na manipulační klice minimalizovaný. U těchto typů odpojovačů je nutno použít pro ruční nouzovou manipulaci izolační manipulační tyč. [12]



Obrázek 29. Odpojovač IVEP QAK [12]

Typ odpojovače	Jmenovité napětí	Jmenovitý proud	Jmenovitý krátkodobý proud	Jmenovitý dynamický proud
	Ur [kV]	Ir [A]	I _k [kA]	I _p [kA]
QAK 12/1250	12	1250	31,5	80
QAK 12/2000	12	2000	40	100
QAK 12/2500	12	2500	40	100

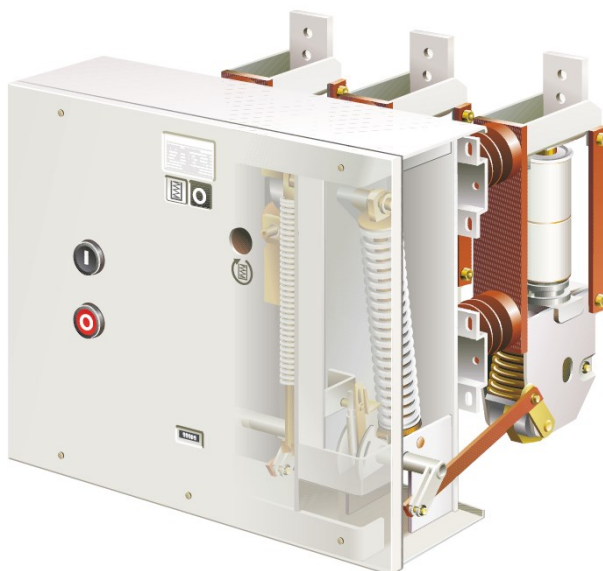
Tabulka 13. Technické údaje odpojovačů IVEP QAK [12]

Stejně jako u odpojovačů firmy DRIBO bude počet odpojovačů 45 kusů, ale budou jinak rozmístěny v kobkách a lišit se bude i počet typů odpojovačů. To je způsobeno třemi vhodnými typy odpojovačů, kdy typ QAK 12/1250 bude v počtu 30 odpojovačů, další dva typy QAK 12/2000 a QAK 12/2500 pak budou v počtech 9 a 6. Pohonná jednotka bude mít napájecí napětí 110V DC.

6.3. Vypínače Schneider Electric

Firma Schneider Electric se zabývá především výrobou technologie vakuového spínání. Řada vypínačů VA, které jsem vybral z jejich katalogu je kombinací nejmodernější technologie a spolehlivou konstrukcí, která podlehla nejpřísnějším testům.

Výhod tohoto vypínače je hned několik. Především je to jeho velice ekonomická a přizpůsobivá konstrukce, dále také ergonomické rozvržení pro snadné ovládání. Jeho robustní konstrukce zajišťuje především dlouhou životnost a také minimální údržbu. Vypínače jsou vybaveny nejmodernějšími vakuovými komorami a ovládacími mechanismy. V řadě VA se nachází vypínače standartní, ale také speciální. [11]



Obrázek 30. Vypínač Schneider Electric VA [11]

Typ vypínače	VA 8012/12	VA 8025/12
Jmenovité napětí	12 kV	12 kV
Jmenovitý kmitočet	50 Hz	50 Hz
Jmenovitý proud	1250 A	2500 A
Výdržné napětí při atmosf. impulsu	75 kA	75 kA
Mezní hodnota zkratového proudu	31,5 kA	31,5 kA
Jmenovitý zapínací proud	80 kA	80 kA
Jmenovitý dynamický proud	80 kA	80 kA

Tabulka 14. Technické údaje vypínače Schneider Electric VA [11]

V kobkové rozvodně budou vypínače typu VA 8012/12 umístěny v počtu 12 kusů. Dalších 5 kusů vypínačů typu VA 8025/12 bude rozmístěno do rozvodny dle jejich jmenovitého proudu. Oba typy vypínačů budou mít motorový pohon o napájecím napětí 220V DC.

6.4. Vypínače Siemens

Vypínače od firmy Siemens jsou další možností pro použití do kobkové rozvodny R2. Tato společnost je na trhu již dlouhou řadu let. Zabývá se širokým sortimentem pro oblasti logistiky a dopravy, automatizace a energetiky.

Vakuový vypínač 3AH3 je vhodný pro použití, jelikož je zcela bezúdržbový po celou dobu své životnosti. Je velice výkonný a jeho maximální životnost je až do výše 10 000 spínacích cyklů. [13]



Obrázek 31. Vypínač Siemens 3AH3 [13]

Typ vypínače	3AH3117-2	3AH3117-6
Jmenovité napětí	12 kV	12 kV
Jmenovitý kmitočet	50 Hz	50 Hz
Jmenovitý proud	1250 A	2500 A
Výdržné napětí při atmosf. impulsu	75 kA	75 kA
Mezní hodnota zkratového proudu	50 kA	50 kA
Jmenovitý zapínací proud	125 kA	125 kA
Jmenovitý dynamický proud	125 kA	125 kA

Tabulka 15. Technické údaje vypínače Siemens 3AH3 [13]

Umístění vypínačů bude koncipováno stejně jako u vypínačů předchozí firmy. To znamená, že vypínač typu 3AH3117-2 bude v kobkové rozvodně obsažen celkem 12 krát a rozmístěn v kobkách podle jmenovitého proudu. Vypínače typu 3AH3117-6 pak budou rozmístěny v rozvodně dle stejného kritéria v počtu 5 kusů. Napájecí napětí motorového pohonu bude 220V DC.

7. Závěr

Značná část objektů v průmyslových a hutních oblastech na severní Moravě a Slezsku počítala v minulosti s velkým vytížením do budoucna. Proto se elektrárny stavěly v blízkosti těchto velkých odběrných míst a podniků. Průmyslové a hutní podniky zajišťují rozvod elektrické energie pomocí rozvodů. Řada z nich byla postavena v minulém století, kdy se počítalo pro tyto společnosti s daleko větším odběrem energie. Na přelomu tohoto století však došlo k mnoha změnám a většina z postavených rozvodů je využitých jen částečně. Přístroje, které jsou v rozvodech umístěny, mají větší jmenovité hodnoty, než je současná potřeba. Také jsou značně zastaralé a je možné tyto přístroje nahradit. Takovéto rozvodny využívají i Třinecké železářny, kterými se ve své práci zabývám.

Cílem této diplomové práce byla potřeba provést optimalizaci kobkové rozvodny R2 na Válcovně předvalků a hrubých profilů Třineckých železáren. Důvodem byla značná předimenzovanost celé rozvodny. Optimalizace spočívala především ve výměně zastaralých přístrojů a následném snížení zkratového výkonu.

V první části práce jsem se zaměřil především na podrobný teoretický popis napájení průmyslových rozvodů a popsal jednotlivé prvky elektrické sítě, jejich schémata a detailnější popis všech komponentů.

Ve druhé části jsem se zabýval popisem konfigurace sítě ET a. s. Třineckých železáren. Zde jsem podrobně uvedl napájení celého hutního podniku a zdroje, ze kterých jsou tyto železářny napájeny. V jedné z podkapitol jsem přiblížil také jednotlivé části Válcovny předvalků a hrubých profilů. Následně jsem se věnoval samotné kobkové rozvodně. Uvedl jsem využití a počet jednotlivých kobek v rozvodně R2. Dále je v práci zahrnuta také tabulka se soupisem přístrojového vybavení jednotlivých kobek.

Třetí část diplomové práce je přechodem od teoretické části k praktickým výpočtům. Zaobírám se zde možnostmi optimalizace. V tabulkách uvádím, jaké přístroje a od jakých výrobců mohou být použity pro optimalizaci.

Čtvrtá stěžejní část práce pojednává o výpočtu zkratových poměrů na rozvodně R2. Nejprve jsem vypočetl zkratový proud a zkratový výkon pro napájení rozvodny R2 s jedním přívodem z rozvodny TIV bez reaktoru. Následně jsem provedl výpočet s umístěným reaktorem v jednom přívodu, pro dvě různá napětí nakrátko a to 5% a 8%. Stejným způsobem jsem spočetl zkratové proudy a zkratové výkony s umístěným reaktorem ve dvou a třech přívodech pro dvě různá napětí nakrátko. Dále jsem porovnal výpočet původních hodnot zkratových proudů a zkratového výkonu s nově vypočtenými hodnotami, které ukázaly odlišnosti. Zkratový výkon před optimalizací byl 564MVA a po optimalizaci, která spočívala ve vložení reaktorů do přívodů kobkové rozvodny R2 z TIV, byl vypočten zkratový výkon o hodnotě 311MVA. Ukázalo se, že po provedení této optimalizace se zkratový proud snížil z 54,3kA na hodnotu 30kA. Na základě těchto skutečností jsem doporučil a vybral přístroje do kobkové rozvodny. Tyto přístroje mohou

v rámci rekonstrukce rozvodny značně snížit finanční rozpočet vybavení. V přehledové tabulce vypočtených hodnot jsem uvedl možnosti, které by vedly ke snížení zkratového proudu. Jednou z možností, která vede k tomuto snížení je minimalizace počtu kabelů. Tento počet nelze omezit pouze na jeden kabel, jelikož je proudová zatížitelnost kabelu značně menší než proud, který byl naměřen v dlouhodobém měření. Tato maximální naměřená hodnota proudu je přibližně 750A. Z tohoto zjištění vyplývá, že je možné snížit počty kabelů ze 7 na minimálně 3 kabely. Pokud se sníží kabeláž na počet tří kabelů se zařazenými reaktory v přívodech, tak by hodnota zkratového proudu klesla na 28,8kA.

Pro vybavení kobkové rozvodny jsem vybral přístroje od firmy Schneider Electric a Siemens, které vyrábějí výkonové vypínače a dále jsem vybral odpojovače od firem IVEP a DRIBO. Reaktory, které byly vloženy do přívodů kobkové rozvodny, se vyrábějí podle požadavků zákazníka a navrhují se přímo pro konkrétní rozvodny. Značná část výrobců, právě z důvodů individuální výroby, neuvádí na svých stránkách a v přehledových katalozích přesné hodnoty a ceny jednotlivých reaktorů. Reaktory, které se nacházejí v Třineckých železárnách, jsou o jmenovitém proudu 1000A a napětí nakrátko 5 %.

8. Literatura

- [1] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1993, 164 s. ISBN 80-7078-195-5.
- [2] VÁVRA, Zdeněk, Vladimír NOVOTNÝ a Zdeněk VOSTRACKÝ. *Stavba elektrických přístrojů II*. 1. vyd. Brno: VUT, 1985, 243 s.
- [3] KOUDELKA, Ctirad. *ELEKTRICKÝ SILNOPROUDÝ ROZVOD V PRŮMYSLových PROVOZOVNÁCH I*. [online]. 2013 [cit. 2015-04-20].
<http://feil.vsb.cz/kat420/vyuka/Magisterske%20nav/prednasky/prumyslove_rozvody.pdf>
- [4] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Elektrické stanice a vedení*. Brno, 2013.
- [5] PROCHÁZKA, Radek. *Druhy elektrického silnoprůdého rozvodu*. [online]. 2007 [cit.2015-04-20].
<<http://www.tzb-info.cz/4035-druhy-elektrického-silnoprudeho-rozvodu>>
- [6] ČSN EN 60909-0. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů*. 2002.
- [7] NAVRÁTILOVÁ, Eva a Tomáš KOSTKA. *ELEKTRICKÉ PŘÍSTROJE* [online]. 2009 [cit. 2015-04-24].
< http://www.outech-havirov.cz/Skola/files/knihovna_eltech/esp/el_pristroje_esp.pdf>
- [8] TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY. *Firemní dokumentace*.
- [9] HELŠTÝN, David, Petr KAČOR a Zdeněk HYTKA. *Elektrické přístroje spínací ochranné a jisticí* [online]. 2003 [cit. 2015-04-27].
<http://feil.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/ep/ep_II/Elektricke%20%20pristroje%20spinac%ED%20ochranne%20a%20jistici.pdf>
- [10] *VA - Vakuový vypínač*. [online]. [cit. 2015-04-24].
<<http://www.schneider-electric.com/products/cz/cs/3100-vypinace-a-stykace-vn/3110-vypinace-pro-vnitri-instalaci/60667-va/>>
- [11] *Vacuum circuit-breaker*. SCHNEIDER ELECTRIC. [online]. 2011 [cit. 2015-04-24].
<http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=4457266&p_File_Name=VA_Auswahlliste_PJ_E_300609_web.pdf>

- [12] *Vnitřní odpojovače TYP QAK, QAKZ: pro napětí 7,2 – 38,5 kV*. IVEP. [online]. 2009 [cit. 2015-04-24]. < <http://www.ivep.cz/UserFiles/File/QAK%203.pdf>>

- [13] *3AH3 Vacuum Circuit-Breakers*. SIEMENS. [online]. 2010 [cit. 2015-04-24]. <https://w3.siemens.com/powerdistribution/global/SiteCollectionDocuments/en/mv/indoor-devices/vacuum-circuit-breaker/3ah3/catalogue-vacuum-circuit-breakers-3ah3_en.pdf>

- [14] *Vnitřní odpojovače ITr*. DRIBO. [online]. 2012 [cit. 2015-04-24]. < http://www.dribo.cz/pdf/CZ_Odpojovace_vnitri_ITr.pdf>

- [15] *VD4 Medium voltage vacuum circuit-breakers 12...36 kV - 630...3150 A - 16...50 kA*. ABB. [online]. [cit. 2015-04-24]. <https://library.e.abb.com/public/74e4be2d506d3bf7c1257a7c004c8a66/CA_VD4-50kA%28EN%29T_1VCP000001-1206b.pdf?filename=CA_VD4-50kA%28EN%29T_1VCP000001-1206b.pdf>

- [16] *Odpojovače VN vnitřní*. SERW. [online]. [cit. 2015-04-24]. < <http://www.serw.cz/cs/odpojovace-vn-vnitri/odpojovace-vn-vnitni.html>>

9. Seznam příloh

PŘÍLOHA I - Elektronická příloha (CD)

PŘÍLOHA I

Elektronická příloha (CD)

- Diplomová práce Lukáš Šilbach.pdf